



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS AGLOMERADOS
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO E DE BAGAÇO DO
MALTE**

Edinho Eduardo Barkert

Lajeado, novembro de 2018

Edinho Eduardo Barkert

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS AGLOMERADOS
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO E DE BAGAÇO DO
MALTE**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Betina Hansen

Lajeado, novembro de 2018

Edinho Eduardo Barkert

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS AGLOMERADOS
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO E DE BAGAÇO DO
MALTE**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Profa. Dra. Betina Hansen
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Rafael Mascolo
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dr. André Catto
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela saúde e determinação para superar as dificuldades, bem como por colocar as pessoas que agradecerei em seguida em meu caminho.

À professora Betina Hansen, minha querida orientadora, por aceitar orientar este trabalho, por toda a dedicação, atenção e apoio, pelos ensinamentos e pelo tempo despendido a mim ao longo deste ano.

Aos demais professores da graduação, bem como à Universidade do Vale do Taquari, por todos os ensinamentos.

Ao professor André Catto, pelo apoio e ajuda nos primeiros testes deste trabalho.

À empresa Duratex, pelo fornecimento da emulsão de parafina.

Aos amigos Alan e João Victor, pelo fornecimento do bagaço do malte, material fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Tecnovates, em especial ao professor Vinicius Ilha, pela ajuda e disponibilização da câmara climática.

Ao Laboratório da Engenharia Mecânica e sua equipe de laboratoristas, por fornecer a prensa hidráulica e por todo o apoio nas adaptações necessárias para a fabricação dos painéis.

Ao Latec e aos laboratoristas, pela ajuda nas adaptações para a confecção dos painéis e para a realização dos ensaios, além de toda a ajuda prestada ao longo deste trabalho.

Por fim, à minha família pelo apoio incondicional ao longo da graduação e aos colegas e amigos que viveram este trabalho comigo.

RESUMO

Os painéis de madeira aglomerada fazem parte do grupo de painéis de madeira reconstituída, formados a partir de fragmentos de madeira e aglomerantes, através da aplicação de pressão e calor. Este trabalho consiste na confecção destes painéis de madeira aglomerada, constituídos por resíduo de madeira de eucalipto, resíduo bagaço de malte proveniente da indústria cervejeira e resina poliéster com neopentil glicol (NPG), com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica de produzir painéis de madeira aglomerada para aplicação na construção civil, a partir de resíduo de madeira de eucalipto e de bagaço do malte proveniente da indústria cervejeira, e com isso dar uma destinação mais nobre e agregar valor aos resíduos estudados. Inicialmente foram realizados testes buscando encontrar as melhores proporções de catalisador e acelerador para obter a melhor cura da resina, bem como, foram realizados testes variando a pressão, o tempo e o modo de cura ideal para obter as melhores placas. Assim, foram confeccionados painéis com 50% de serragem, 50% de bagaço de malte e 20 e 30% de resina em relação à massa das partículas secas, e painéis com 100% bagaço do malte e 10% de resina em relação à massa das partículas secas, com os quais foram realizado os ensaios de determinação do teor de umidade, inchamento após 24 horas, tolerância em relação à densidade média, resistência à flexão estática e resistência ao arrancamento de parafusos, todos baseados na NBR 14810-2. Os resultados encontrados para os ensaios mecânicos como flexão estática e arrancamento de parafusos ficaram abaixo do esperado e apresentado pela literatura, bem como abaixo do mínimo exigido pela norma para os painéis do tipo P2. Para os ensaios físicos, os resultados de inchamento após 24 horas também ficaram abaixo do recomendado pela norma, já o ensaio de tolerância em relação a densidade média apresentou variação dentro do máximo permitido pela norma, que é 7%, apesar da densidade ter ficado abaixo do especificado para painéis de média densidade. Por fim, os resultados do teor de umidade atenderam à especificação da NBR 14810-2, com valores dentro do intervalo entre 5 e 13%.

Palavras-chave: Painéis de madeira aglomerada. Bagaço do malte. Resina poliéster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pannel de madeira compensada	20
Figura 2 – Seção de uma peça de madeira compensada, destacando as lâminas	21
Figura 3 – Chapa dura de fibra de madeira (HDF).....	21
Figura 4 – Pannel OSB.....	22
Figura 5 – Pannel MDF	22
Figura 6 – Pannel de madeira aglomerada	23
Figura 7 – Produção e consumo de painéis aglomerados.....	25
Figura 8 – Consumo aparente de PMR no Brasil	26
Figura 9 – Etapas do processo produtivo de painéis aglomerados	27
Figura 10 – Resina isoftálica com NPG	30
Figura 11 – Classificação granulométrica do bagaço do malte	38
Figura 12 – Aparência dos materiais utilizados na confecção dos painéis. A) Serragem; B) Bagaço de malte; C) Resina posióéster isoftálica com NPG.....	39
Figura 13 – Testes realizados para obter melhor proporção de catalisador.....	39
Figura 14 – Projeto do molde para confecção dos painéis	41
Figura 15 – Molde para confecção dos painéis	42
Figura 16 – Equipamentos utilizados para a confecção e estabilização dos painéis: A) Prensa Kraft 40T; B) Estufa Solotest; C) Câmara Climática	43
Figura 17 – Plano de corte 01	44
Figura 18 – Plano de corte 02.....	45
Figura 19 – Local da medição da espessura e das dimensões do corpo de prova	47
Figura 20 – Pontos de medição do corpo de prova	48
Figura 21 – Posicionamento do corpo de prova na prensa.....	49
Figura 22 – Realização do ensaio de flexão estática	49
Figura 23 – Dispositivo para submersão de corpos de prova em água.....	50
Figura 24 – Representação da inserção dos parafusos nos corpos de prova: (A) Ensaio de superfície; (B) Ensaio de topo	52
Figura 25 – Realização do ensaio de arrancamento de parafusos	52
Figura 26 – Placa E0B100-10 moldada com 1% de acelerador e 2% de catalisador, cura em temperatura ambiente por 24 horas	54
Figura 27 – Placa E0B100-10 moldada com 1% de acelerador 2% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos e cura em temperatura ambiente por 24 horas	54

Figura 28 – Placa E50B50-10 moldada com 1% de acelerador e 3% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente mais pós cura em estufa à 70°C por 2 horas	55
Figura 29 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador e 3% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa à 70°C por 3 horas	56
Figura 30 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador, 5% de catalisador, 1% de emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos	57
Figura 31 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador, 3% de catalisador, 1% de emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa à 70°C por 3 horas	57
Figura 32 – Placa E50B50-20 danificada após manuseio	58
Figura 33 – Placas E50B50-20 moldadas com 1% de acelerador, 3% de catalisador e sem emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa durante 15 minutos, cura a temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa por 3 horas	58
Figura 34 – Placas moldadas com resina já acelerada e 3% de catalisador, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos e cura em estufa à 70°C por 24 horas A) Placa E50B50-20; B) Placa E50B50-30	59
Figura 35 – Placas moldadas com resina já acelerada e 3% de catalisador, pressão de 4,8 MPa e cura em estufa à 70°C por 24 horas A) Placa E50B50-10; B) Placa E0B100-10	59
Figura 36 – Resultados do teor de umidade (%) dos painéis produzidos.....	61
Figura 37 – Resistência à flexão estática (MOR)	64
Figura 38 – Inchamento após 24 horas	65
Figura 39 – Resistência ao arrancamento de parafusos	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos painéis de média densidade	24
Quadro 2 – Requisitos gerais de comercialização de painéis MDP	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada em São Paulo.....	19
Tabela 2 – Consumo de painéis no Brasil (1.000 m ³)	25
Tabela 3 – Proporção dos materiais para formação dos painéis.....	40
Tabela 4 – Dimensões dos corpos de provas para cada tipo de ensaio	44
Tabela 5 – Determinação da densidade e tolerância em relação á densidade média.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EGP	Edge Glued Panel
HDF	High Density Fiberboard
LATEC	Laboratório de Tecnologia da Construção
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Resistência à Flexão
NBR	Normas Brasileiras
NPG	Neo Pentil Glicol
OSB	Oriented Strand Board
PMR	Painéis de Madeira Reconstituída
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
UV	Ultra Violeta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Delimitações da pesquisa.....	14
1.5 Estrutura do trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 A madeira	16
2.2 A madeira e a sustentabilidade	17
2.3 Uso da madeira na construção civil.....	18
2.4 A madeira transformada	20
2.5 Painéis aglomerados de madeira	23
2.5.1 Panorama atual de produção no Brasil	25
2.5.2 Características gerais e processo de fabricação.....	26
2.5.3 O aglomerante.....	28
2.5.4 Propriedades físicas e mecânicas.....	30
2.5.5 Requisitos para comercialização	31
2.6 Utilização de resíduos em painéis de madeiras	33
2.7 O bagaço do malte	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 Materiais.....	37
3.2 Moldagem dos painéis.....	40
3.3 Preparação dos corpos de prova	43
3.4 Ensaio.....	45
3.4.1 Determinação do teor de umidade	45

3.4.2 Determinação da densidade	46
3.4.2 Determinação da resistência à flexão estática (MOR).....	48
3.4.4 Determinação do inchamento durante 24 horas	50
3.4.5 Determinação da resistência ao arrancamento de parafusos	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Testes preliminares	53
4.2 Resultados dos ensaios	60
4.2.1 Determinação do teor de umidade	61
4.2.2 Determinação da densidade	62
4.2.3 Determinação da resistência à flexão estática	63
4.2.4 Determinação do inchamento após 24 horas	65
4.2.5 Determinação da resistência ao arrancamento de parafusos	66
5 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada na construção civil desde as primeiras civilizações e atualmente, em países como os Estados Unidos da América, é amplamente empregada em construções devido à sua boa resistência mecânica e boa capacidade como isolante térmico e acústico. No Brasil, há um certo preconceito com relação ao seu emprego na construção civil devido à cultura trazida pelos colonizadores bem como, desempenhos insatisfatórios devido ao desconhecimento das propriedades e emprego de métodos de construção inadequados (ZENID, 2011).

Ambientalmente falando, a madeira é um material totalmente renovável, visto que sempre estará disponível desde que ocorra o correto manejo e reflorestamento; também, a madeira retém carbono que só é liberado quando a mesma for degradada (CACHIM, 2014). O lado negativo são algumas falhas que a mesma pode apresentar devido à sua formação e o mal aproveitamento na produção, necessitando mais toras para suprir a demanda de madeira e gerando uma elevada quantidade de resíduo (BAUER, 2016).

Tem-se assim a importância das madeiras transformadas e, entre elas, a madeira aglomerada. Através de tratamentos e da produção destas é possível corrigir falhas e reaproveitar o volume desperdiçado, formando novos materiais (FEITOSA, 2008). Também, tem-se estudado a possibilidade de inclusão de resíduos provenientes de outros processos produtivos na produção destas madeiras, buscando analisar se atendem às necessidades físicas e mecânicas para sua aplicação, dando assim, um destino ambientalmente correto e agregando valor aos resíduos.

Tendo em vista o exposto, este trabalho consiste no desenvolvimento de painéis de madeira aglomerada com resíduo de madeira de eucalipto e bagaço de malte, proveniente da produção de cerveja. Destes painéis serão retirados corpos de prova que serão submetidos a ensaios físicos e mecânicos buscando caracterizá-los e verificar se atendem às normas vigentes para aplicação, e com isso avaliar a viabilidade técnica de produzir painéis com misturas deste tipo.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica de produção de um painel aglomerado de madeira para aplicação no setor da construção civil, a partir de resíduos de madeira de eucalipto e de bagaço do malte proveniente da indústria cervejeira.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho, visando atingir o objetivo principal são:

- Testar diferentes proporções de serragem de madeira de eucalipto e de bagaço do malte, a fim de encontrar a proporção que resulte em melhores condições de moldagem dos painéis;
- Analisar a influência do teor de resina nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis;
- Analisar como as diferentes proporções entre serragem, bagaço do malte e resina influenciam nas propriedades dos painéis, como densidade, teor de umidade, inchamento após 24 horas, arrancamento de parafusos e resistência à flexão estática, conforme a NBR 14810-2;
- Verificar se os painéis produzidos atendem aos requisitos da NBR 14810-2 para serem utilizados como painéis do tipo P2 – Painéis não estruturais para uso interno em condições secas.

1.3 Justificativa

Justifica-se a realização deste trabalho devido a importância de empregar resíduos em materiais utilizados na construção civil, como a madeira aglomerada. O bagaço de malte proveniente de cervejarias e o resíduo de madeira de eucalipto são gerados em grande escala na região e o emprego de ambos os materiais na produção de painéis de madeira aglomerada acarretaria em uma destinação correta além de agregar valor aos mesmos. É uma solução que demandaria grande parte do volume destes materiais e que hoje têm uma destinação menos nobre, quando não são descartados de forma incorreta, causando problemas ambientais.

Ressalta-se ainda que com o emprego destes materiais na produção dos painéis, haveria menos demanda de madeira serrada e consecutivamente, seria necessário retirar menos madeira das florestas, sendo mais um benefício para o meio ambiente.

1.4 Delimitações da pesquisa

Esta pesquisa delimita-se em avaliar a possibilidade técnica de produzir painéis de madeira aglomerada composta de resíduo de madeira de eucalipto provenientes de uma serraria localizada no município de Boqueirão do Leão, bagaço do malte proveniente da produção artesanal de cerveja neste mesmo município e resina poliéster com neopentil glicol (NPG) e verificar se apresentam desempenho físico e mecânico para serem classificados como painéis do tipo P2 – Painéis não estruturais para uso interno em condições secas, por terem grande demanda de aplicação no setor.

Serão realizados ensaios de determinação do teor de umidade, tolerância em relação à densidade média, resistência à flexão estática, inchamento durante 24 horas e resistência ao arrancamento de parafusos, conforme a NBR 14810-2. Não serão realizados os ensaios de espessura, largura e comprimento, esquadro e retilineidade pois, para isso, seria necessário confeccionar painéis com dimensões comerciais, o que não seria possível pela falta de equipamentos. Além destes, não serão realizados os ensaios de emissão de formaldeído, já que a resina é do tipo poliéster. Não será realizada avaliação da resistência à tração perpendicular e resistência à tração superficial, bem como não será definido o módulo de elasticidade, devido à falta de alguns equipamentos necessários para estes ensaios.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo consiste em uma apresentação introdutória aos painéis de madeira aglomerada, que são tema deste trabalho, bem como apresenta os objetivos, justificativa e delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo compreende a revisão da literatura, que consiste em apresentar informações sobre os materiais que serão empregados neste trabalho, os materiais que serão desenvolvidos, os conceitos e normas que fundamentam esta proposta, bem como apresentar trabalhos que já foram desenvolvidos nesta mesma linha de pesquisa.

O terceiro capítulo é composto pela metodologia utilizada na elaboração deste estudo. Já o quarto capítulo contempla os resultados encontrados com a pesquisa bem como as discussões acerca destes resultados.

No quinto capítulo estão apresentadas as considerações finais do estudo, levando em consideração tudo o que foi realizado ao longo da pesquisa.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas consultadas para a fundamentação teórica deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A madeira

Bauer (2016) apresenta a madeira como um material excepcional e matéria-prima de múltiplo aproveitamento, pois além de ser utilizada na construção em geral, ela é empregada como combustível e em diversos usos industriais. Está presente em todos os lugares do mundo e é um material abundante, todavia, precisa ser cultivado e renovado.

Além disso, a madeira é um material de construção de excelência devido a diversos fatores. Entre eles destaca-se o fato de ser ambientalmente correta, já que é um material totalmente renovável, de possuir elevada resistência quando comparada com seu peso próprio, ter elevada durabilidade quando utilizada em estruturas executadas corretamente, é um bom isolante térmico, acústico e elétrico, ser bonita, trabalhável e resistente ao fogo, pois possui uma taxa de combustão baixa (CACHIM, 2014).

A composição química das madeiras não tende a mudar muito entre as mais variadas espécies, sendo que os principais elementos que compõem essa estrutura são o carbono, o hidrogênio, o oxigênio e o nitrogênio, além de pequenas quantidades de cálcio, potássio, magnésio, entre outros (KLOCK; ANDRADE, 2013). Estes elementos estão sintetizados dentro de três componentes macromoleculares, sendo eles a celulose (40 a 50%), a hemicelulose (25 a 40%) e a lignina (20 a 35%) (CACHIM, 2014). Bauer (2016) classifica essa macroestrutura em holocelulose (60%), sendo que esta se divide em celulose α e celulosas β e γ e lignina (25%).

A classificação botânica das espécies lenhosas, das quais é extraída a madeira para a construção civil e para os diversos usos, é muito importante, pois dentro dessa classificação,

em uma mesma espécie, têm-se determinadas características que se mantêm consideravelmente constantes, como é o caso da resistência físico-mecânica. A madeira provém do lenho dos vegetais superiores e suas características provêm dessa origem. Se classificam, botanicamente, no ramo das fanerógamas ou espermatófitos, vegetais completos com raízes, caule, copa, folhas, flores e sementes. As fanerógamas, devido à sua germinação e crescimento, são classificadas em endógenas e exógenas, já as exógenas são classificadas em dois grandes grupos, denominados gimnospermas e angiospermas (BAUER, 2016).

Gonzaga (2006) completa que as gimnospermas estão no grupo das coníferas, que também são chamadas, na América do Norte, de madeiras macias. A madeira proveniente de coníferas representa quase a metade do consumo mundial, e entre elas está o pinus, muito utilizado nas florestas de reflorestamento. Ainda segundo o autor, as angiospermas estão no grupo das folhosas, também conhecidas por madeiras duras. no Brasil, correspondem quase à totalidade da produção madeireira, destacando-se o eucalipto.

O gênero eucalyptus conta com mais de 700 espécies, os frutos são lenhosos, cônicos e possuem válvulas que se abrem para a liberação das sementes, sendo os frutos e as flores os elementos mais característicos das espécies de eucalipto (BOTÂNICA..., [20--]). Segundo o Estudo Setorial da ABIMCI o eucalipto está presente em 64,7% da área de florestas plantadas no Brasil e é possível perceber o crescimento da presença do mesmo ano a ano (ABIMCI, 2008).

Durante o processo de fabricação da madeira é gerado um volume significativo de resíduos, sendo que, segundo Feitosa (2008), em média apenas 35% de cada tora é transformada no produto final e os outros 65% viram resíduo, ou seja, ocorre um grande desperdício de toras, sendo necessário o plantio e derrubada de grandes áreas de florestas para suprir a demanda, e também, gerando uma grande quantidade de resíduos, que acabam sendo descartados sem nenhum reaproveitamento.

2.2 A madeira e a sustentabilidade

As áreas de florestas e consequentemente as árvores são essenciais para a vida na Terra, pois elas participam do ciclo da água e no ciclo do carbono. As florestas, juntamente com a biomassa marinha, funcionam como reguladores ecológicos do planeta, deste modo, a

utilização da madeira, seja na construção civil ou em qualquer outra atividade, deve ocorrer de forma sustentável, proporcionando um reflorestamento que mantenha os recursos e a biodiversidade do planeta assegurados (CACHIM, 2014). O autor ressalta ainda que empregar a madeira nas construções é ambientalmente sustentável, pois, apesar da produção da madeira implicar no abatimento de muitas árvores, é possível renovar essas áreas. Além disso, quando se utiliza a madeira para produção das mais variadas peças e aplicações, o carbono retido nela permanece em sua estrutura, sendo que só é liberado quando a mesma é degradada.

A madeira acompanhada de documentos que comprovem sua origem legal deve ser apresentada como um material ecologicamente correto, sendo uma alternativa a materiais como metais, plásticos, materiais cimentícios, e outros que, para sua produção, consomem minerais não renováveis. A certificação florestal que comprova a legalidade da madeira, segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2016), é um processo ao qual algumas empresas submetem seus produtos buscando atestar que seguem alguns padrões de qualidade e sustentabilidade. Essa certificação florestal se baseia nos três pilares da sustentabilidade, que são ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável (ZENID, 2009).

2.3 Uso da madeira na construção civil

A madeira é utilizada nas construções desde o início da história, variando entre cada civilização, bem como nas técnicas construtivas do material de acordo com o clima, o terreno e a cultura. Na China, os primeiros relatos das técnicas de construção em madeira datam do período de 960 – 1270. Após a revolução industrial surgiram novos materiais e o uso da madeira diminuiu (MEIRELLES et al., 2007).

Em toda a América Latina e no Brasil, há um preconceito generalizado quanto ao uso de madeira em edificações. Isso se deve pela tradição herdada dos colonizadores europeus e também, pelo emprego inadequado da madeira nos mais variados usos, o que causa seu desempenho insatisfatório se comparada a outros materiais. Com isso, seu emprego fica restrito a algumas aplicações, sendo de uso temporário, como fôrmas para concreto, andaimes, escoramentos, tapumes e instalações de canteiros de obras, e definitivas, em estruturas de coberturas, nas esquadrias, em forros, em pisos e em acabamentos em geral (ZENID, 2011).

Os produtos da madeira que são utilizados na construção civil sofrem pouco ou nenhum processamento, como a madeira roliça, ou passam por vários graus de beneficiamento, como a madeira serrada e beneficiada, em lâminas, em painéis de madeira e madeira tratada com produtos preservativos (ESTUDO..., 2007).

A madeira roliça é o produto com menor grau de processamento da madeira e é empregada de forma temporária em escoramentos e na produção de andaimes. A madeira serrada passa por inúmeros processos nas serrarias e dá origem a vários produtos como pranchas, pranchões, blocos, tábuas, caibros, vigas, vigotas, sarrafos, pontaletes, ripas, etc. Estes são empregados em inúmeras situações na construção civil. A madeira beneficiada é obtida pela usinagem das peças serradas e é empregada em forros, assoalhos, batentes e rodapés. Já as lâminas provêm de um processo de cozimento das toras e posterior corte em lâminas e seu uso está associado ao revestimento de divisórias, possuindo maior valor comercial (ESTUDO..., 2007).

Sobral et al. (2002) distribuem o consumo de madeira serrada no estado de São Paulo conforme a Tabela 1, onde pode-se visualizar que o maior consumo de madeira na construção civil é em estruturas de coberturas, com 50% do volume, e em estruturas provisórias como andaimes e formas, totalizando 33%, ou seja, a maior parte do consumo de madeira se destina a usos menos nobres e apenas 17% é empregado em locais considerados mais nobres.

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada em São Paulo

Uso na construção civil	Consumo (1000 m ³)	%
Estruturas de coberturas	891,7	50
Andaimes e formas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
TOTAL	1783,3	100

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Sobral et al (2002).

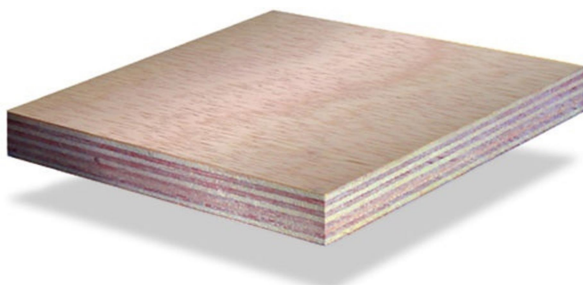
Outra forma de utilizar a madeira é através dos painéis de madeira transformada, os quais surgem para diminuir as variações dimensionais da madeira maciça, além de diminuir seu custo e peso, mantendo suas propriedades isolantes e, além disso, oferecem uma maior largura, o que permite maiores aplicações. Novos produtos vem sendo desenvolvidos no setor, buscando preencher os requisitos e demandas do setor da construção civil (ZENID, 2011).

2.4 A madeira transformada

É na estrutura do tecido lenhoso que estão as características de qualidade do material, porém, nessa mesma estrutura estão presentes as falhas provenientes de sua heterogeneidade e de sua anisotropia, geradora de tensões internas. As transformações beneficiam a madeira buscando reestruturá-la rearranjando suas fibras resistentes, dando origem a diferentes tipos de madeiras transformadas (BAUER, 2016), como as madeiras compensadas, chapa dura de fibra de madeira (HDF), as madeiras OSB (*Oriented Strand Board*), os painéis MDF e os painéis aglomerados.

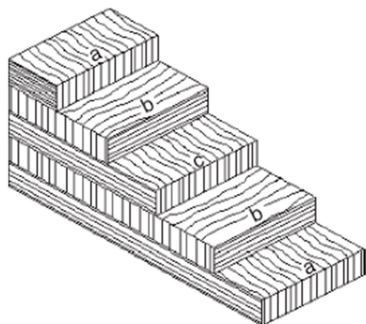
Os painéis de madeira compensada (FIGURA 1) são formados pela colagem de três, cinco ou mais lâminas, sempre sendo em número ímpar de lâminas, buscando alternar as direções das fibras em ângulo reto, como mostra a Figura 2 e a espessura do painel pode variar de 4 a 30 mm. As lâminas possuem espessura que varia de 1 a 5 mm sendo coladas umas às outras sob pressão, a frio ou a quente (PFEIL; PFEIL, 2003).

Figura 1 – Pannel de madeira compensada



Fonte: Leroy Merlin ([21--])

Figura 2 – Seção de uma peça de madeira compensada, destacando as lâminas



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003, p. 12).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA) (2014), os painéis de madeira compensada são utilizados na produção de fôrmas de concreto, barracões de obras, lajes, construções provisórias, tapumes e bandejas de proteção.

As chapas duras de fibra de madeira (FIGURA 3) são, segundo a NBR 10024 (ABNT, 2012), chapas planas fabricadas a partir de fibras entrelaçadas, fabricadas com pressão e calor em prensa quente, até atingir massa específica aparente superior a 800 kg/m^3 . Esses painéis são utilizados, principalmente, em portas e divisórias (ABIPA, 2014).

Figura 3 – Chapa dura de fibra de madeira (HDF)

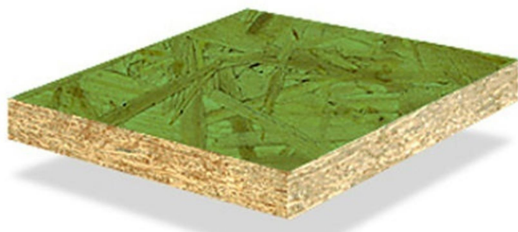


Fonte: Brasfibra ([21--]).

As placas OSB (*Oriented Strand Board*), apresentada na Figura 4, são muito utilizadas em funções estruturais, como painéis diafragma, almas de vigas I compostas e em revestimentos de pisos e coberturas. Estes painéis são formados por lascas de madeira, coladas sob pressão e calor. Buscando uma vantagem econômica, além de reduzir a massa específica, que neste material fica entre 550 e 750 kg/m^3 , nas camadas superficiais essas

lascas são dispostas alinhadas à direção longitudinal do painel e às camadas internas, dispostas aleatoriamente ou na direção transversal (PFEIL; PFEIL, 2013).

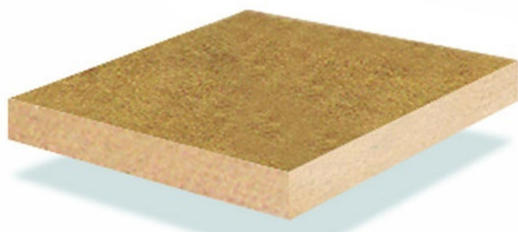
Figura 4 – Painel OSB



Fonte: Leroy Merlin ([21--]).

Os painéis de fibra de média densidade (MDF), apresentado na Figura 5 e normatizados pela NBR 15316-1 (ABNT, 2014) e pela NBR 15316-2 (ABNT, 2015), são painéis constituídos por fibras de madeira com umidade inferior a 20% e densidade superior a 450 kg/m³. Sua produção consiste na aplicação de calor e pressão e adesivo sintético. Suas aplicações, segundo a ABIPA (2014), são em portas retas e usinadas, almofadas de portas e divisórias, revestimento de paredes, balaústres de escadas, rodapés, pisos e batentes.

Figura 5 – Painel MDF



Fonte: Leroy Merlin ([21--]).

Outro tipo de madeira transformada consiste no painel de madeira aglomerada. Segundo a NBR 14810-1 (ABNT, 2013) e a NBR 14810-2 (ABNT, 2013), estes painéis possuem espessura que varia de 3 mm a 50 mm e são constituídos por partículas de madeira aglomerada com resinas naturais ou sintéticas, sob ação de pressão e calor. A NBR 14810-1 (ABNT, 2013) cita inúmeros tipos de madeiras aglomeradas, entre elas os painéis de madeira aglomerada de média densidade (MDP) e os painéis de madeira aglomerada homogênea, que são compostos por uma única camada de partícula de madeira (FIGURA 6).

Figura 6 – Painel de madeira aglomerada



Fonte: Leroy Merlin ([21--]).

Há outras formas de classificar as madeiras transformadas. A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) (2009) classifica os painéis de madeira em painéis de madeira maciça, como o painel compensado e o EGP (painel colado lateral), em painéis de partículas, sendo estes os painéis aglomerados, painéis OSB e MDP, e por fim os painéis de fibras, como o MDF, chapa dura e HDF.

2.5 Painéis aglomerados de madeira

Bauer (2016) define madeira aglomerada como sendo as chapas e artefatos obtidos pela aglomeração de pequenos fragmentos de madeira, como cavaco, aparas, maravalhas ou flocos, através de prensagem e colagem. Segundo Mattos, Chagas e Gonçalves (2008) são empregados como matéria prima resíduos industriais de madeira, resíduos de exploração florestal, madeiras de baixa qualidade, entre outras. Ainda segundo os autores, no Brasil, estes fragmentos de madeira provém em sua maioria de florestas plantadas, principalmente de pinus e eucalipto. Devido à modernização tecnológica a partir dos anos 90, o processo de fabricação se modernizou conferindo ao produto melhores características de resistência e uma nova nomenclatura, os painéis MDP (painéis de partículas de média densidade).

Os resíduos da madeira são classificados, de acordo com suas características morfológicas, como pó, que possui granulometria menor que 0,5 mm e é gerado normalmente no corte e no lixamento da madeira; a serragem, onde as dimensões das partículas devem ficar entre 0,5 e 2,5 mm, geradas quando se utilizam serras, cortes e usinagem de peças planas; e maravalhas, com partículas maiores do que 2,5 mm, oriundas da utilização de plainas, da limpeza da madeira maciça bruta nas quatro faces e de furos na madeira. Além destes, há ainda os cavacos, que possuem dimensões máximas de 50 x 20 mm, devido ao uso de picadores e encaixes; os cepilhos, que são peças de madeira de diferentes tamanhos, com

várias faces planas e dimensões longitudinais mais de quatro vezes maior que as dimensões transversais, e por fim, as costaneiras, que resultam do desdobro primário dos fustes com uma das faces longitudinais planas (FONTES, 1994).

Cachim (2014) destaca a vasta área de aplicação da madeira aglomerada, devido a vários fatores, como a relação resistência/peso, resistência/custo, fácil trabalhabilidade e acabamento, a grande variação de dimensões e espessuras, além de ser ambientalmente correto e possuir boa aplicação no mercado.

Os painéis de madeira aglomerada podem ser usados, por exemplo, no setor de embalagens, setor moveleiro e no setor da construção civil. Neste último, podem ser empregados em pisos, paredes, vigas I, escadas, forros, coberturas, tapumes, divisórias, barracões, lambris, portas, entre outros (ABIMCI, 2009). Busca-se desenvolver painéis aglomerados com resistências superiores e que possam ser empregados em mais situações da construção civil.

A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) classifica os painéis aglomerados de média densidade em seis tipos conforme o Quadro 1, de acordo com suas características, bem como, define que a densidade destes painéis deve ser de 551 kg/m³ a 750 kg/m³, constituídos de partículas de madeira, aglutinadas com resina termofixa, que se unem quando submetidos à pressão e calor.

Quadro 1 – Classificação dos painéis de média densidade

Tipo	Descrição
P2	Painéis não estruturais para uso interno em condições secas
P3	Painéis não estruturais para uso em condições úmidas
P4	Painéis estruturais para uso em condições secas
P5	Painéis estruturais para uso em condições úmidas
P6	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos
P7	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 14810-2 (ABNT, 2013, p. 1).

2.5.1 Panorama atual de produção no Brasil

No Brasil, o setor de painéis de madeira ainda não pode ser considerado sólido, mesmo já tendo um longo histórico de produção de alguns tipos destes painéis, como o aglomerado/MDP e as chapas de fibras. Ao longo do tempo, o consumo de painéis aumentou, como é possível verificar na Tabela 2, devido à melhora de sua qualidade bem como pela escassez da oferta de madeira maciça, principalmente de lei (MATTOS; CHAGAS; GONÇALVES, 2008).

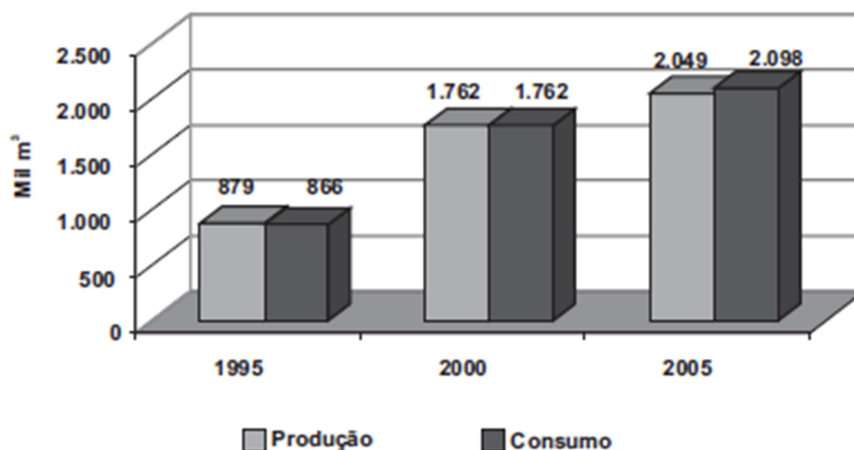
Tabela 2 – Consumo de painéis no Brasil (1.000 m³)

Tipo	1995	Part. %	2005	Part. %	Cresc. A. A. %
Aglomerado/MDP	866	40,1	2.098	42,9	9,3
MDF	21	1,0	1.450	29,6	52,7
Chapa	284	13,2	273	5,6	- 0,4
Compensado	988	45,8	1.071	21,9	0,8
TOTAL	2.159	100,0	4.892	100,0	8,5

Fonte: ABIMCI apud Mattos, Chagas e Gonçalves (2008, p. 134).

Ainda segundo Mattos, Chagas e Gonçalves (2008), a produção de painéis aglomerados no Brasil aumentou conforme seu consumo, sendo que, conforme o Figura 7, a produção foi o suficiente para suprir a necessidade do mercado interno, mantendo as importações e exportações em patamares inexpressivos.

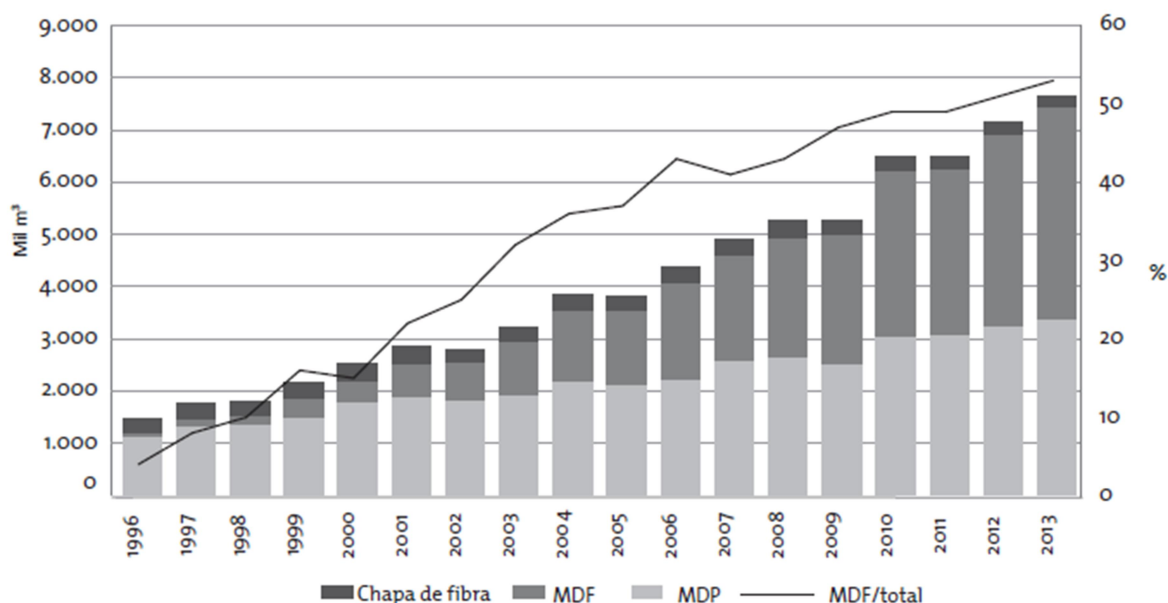
Figura 7 – Produção e consumo de painéis aglomerados



Fonte: ABIPA apud Mattos, Chagas e Gonçalves (2008, p. 141).

Segundo Vidal e Hora (2014), o consumo de painéis de madeiras reconstituídas (PMR), que inclui as chapas de fibras, o MDP e o MDF, de 1996 a 2013 aumentou 10,2%. Em 2012 estes painéis representaram 82% do total de painéis consumidos no país. Nos últimos cinco anos, levando em conta uma base de consumo maior, o crescimento ainda foi significativo, sendo de 7,8% ao ano. Na Figura 8 apresenta-se o consumo de PMR de 1996 a 2013, onde verifica-se um consumo maior dos painéis MDF nos últimos anos.

Figura 8 – Consumo aparente de PMR no Brasil



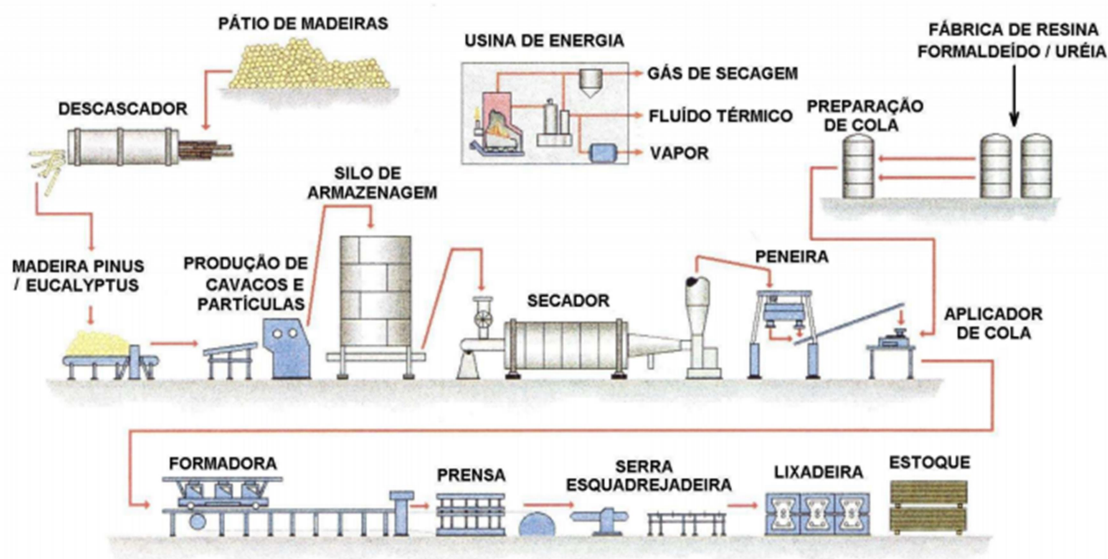
Fonte: ABIPA apud Vidal e Hora (2014, p. 345).

Para os autores e de acordo com a média móvel dos últimos três anos apresentado na Figura 8, a variação da demanda por painéis MDP deve estabilizar nos 5% ao ano.

2.5.2 Características gerais e processo de fabricação

Na produção das chapas de madeira aglomerada, a madeira em sua forma original é processada até os fragmentos atingirem a granulometria desejada e após, a mesma é misturada ao aglomerante. A mistura, tendo seu peso controlado, é prensada em máquinas que ajustam a mistura conforme a necessidade, sendo que a pressão é da ordem dos 3 MPa e temperatura de 150°C, quando o aglomerante é uma resina fenólica. Por fim, recebem o acabamento (BAUER, 2016). A Figura 9 sintetiza os processos de fabricação dos painéis aglomerados.

Figura 9 – Etapas do processo produtivo de painéis aglomerados



Fonte: Iwakiri (2005a)

A madeira extraída das florestas é levada até os pátios de madeiras onde realiza-se o monitoramento do teor de umidade que deve variar entre 35 e 120%, pois a madeira muito seca dificulta o controle da geometria das partículas, gerando muitos “finos”, e a madeira muito úmida, acaba gerando obstruções e problemas durante a moagem das partículas. Após, as toras são levadas para o descascador, onde é retirada a casca que representa um volume de 10 a 15% da peça. A presença da casca pode trazer efeitos prejudiciais às propriedades dos painéis. Já descascada, a madeira passa para o processo seguinte que é a trituração da mesma que dá origem às partículas. Deve-se levar em conta as dimensões dessas partículas, pois isso interfere também nas propriedades físicas e mecânicas, no acabamento, na aplicação dos revestimentos e na usinabilidade, bem como, no tipo de painel que será fabricado (IWAKIRI, 2005a).

Conforme o autor, as partículas são levadas então para uma posterior etapa de secagem, sendo uma operação de extrema importância, pois a umidade pode afetar na cura da resina, no tempo de prensagem necessário e na pressão sobre o colchão de partículas. O teor de umidade final deve ser de 2 a 3% e o tempo de secagem tem relação direta com a densidade da madeira, quantidade e espessura das partículas, umidade inicial e final.

Após a secagem, faz-se a retirada das impurezas e materiais finos, bem como a seleção granulométrica das partículas, por meio de peneiras com base vibratória inclinada ou

classificação pneumática, por meio do peso das partículas. Com as partículas granulometricamente classificadas, as mesmas são misturadas ao adesivo. Nesta etapa, é importante um controle da quantidade de aglomerante adicionada, que varia de 6 a 12%, bem como a uniformidade da adição sobre as partículas. Também podem ser adicionados os demais aditivos químicos (catalisador, parafina, retardantes ao fogo, preservantes contra fungos e insetos, etc.) (ALVES, 2013).

Com a mistura das partículas com o aglomerante e os aditivos prontos, o material é depositado uniformemente, formando um “colchão” de material. A espessura deste colchão é definida pelas características do painel, como densidade e espessura. O colchão é levado à prensa, onde ocorre a pré-prensagem, que reduz a altura do colchão aumentando sua consistência e reduzindo os espaços de ar, o que melhora a transferência de calor, e então, ocorre a prensagem à quente, onde ocorre a cura da resina, a consolidação do colchão e chega-se a espessura final do painel (ENVALMA, 201 -?].

Segundo Iwakiri (2005a), na etapa de prensagem deve-se observar a pressão aplicada que varia de 12 a 40 kgf/cm², a temperatura, que tem relação com a cura da resina e varia de 200 a 220°C, e o tempo de prensagem, que possui relação com a temperatura, com a umidade do colchão e a espessura do painel. Após serem retirados da prensa, os painéis permanecem por aproximadamente 40 minutos no resfriamento, onde entra com temperatura aproximada de 160°C e sai com temperatura entre 40 e 50°C. Com a redução da umidade e temperatura, os painéis são lixados e cortados nas dimensões comerciais.

Os acabamentos agregam em torno de 30 a 50% do valor do painel cru. Os processos de revestimento descritos por Iwakini (2005) consistem em lâminas de madeira natural, BP – painel impregnado com resina melamínica e FF – papel *Finish Foil*, laminados de alta pressão e pintura direta.

2.5.3 O aglomerante

Para as madeiras transformadas de um modo geral, Bauer (2016) classifica os aglomerantes em cola de origem natural e origem vegetal, e em resinas sintéticas, sendo que a primeira é proveniente de proteínas animais, como ossos, peles e peixes; e a segunda da soja, amendoim, etc. Elas apresentam boa resistência mecânica mas possuem deficiência quando se trata de temperatura e umidade. Já as resinas sintéticas possuem alta resistência mecânica e

não se alteram em condições de umidade, temperatura e microorganismos, porém são mais caras e requerem maiores cuidados na preparação e aplicação.

Barbosa (2014) classifica as resinas sintéticas em duas categorias: termoplásticas e termofixas. As termoplásticas são caracterizadas por serem recicláveis, pois ao serem aquecidas passam para o estado líquido e ao serem resfriadas, retornam ao estado sólido. Essa característica se deve à estrutura molecular com ligações lineares fracas. Já as termofixas caracterizam-se pela adição de um endurecedor, transformando as ligações lineares em ligações cruzadas, dando origem a um produto de alta rigidez e que se degrada com o aquecimento.

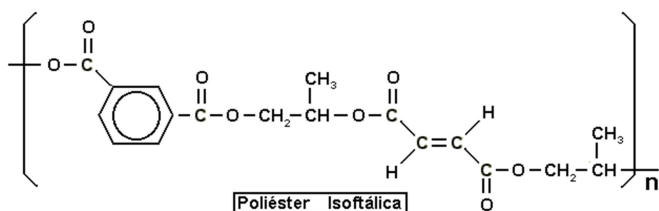
Entre as várias opções de resinas presentes no mercado atualmente, destaca-se a resina ureia-formaldeído, resultante da condensação de aminas com aldeídos. Segundo Katsukake (2009), é a mais empregada na produção de painéis aglomerados e MDF. Algumas vantagens desta resina são o baixo custo, cura rápida, baixa influência na coloração, alto teor de sólidos e “tempo de gel”, sendo que a cura pode ocorrer desde a temperatura ambiente até 200°C. Como desvantagens, destaca-se a emissão de formol e a baixa resistência à água.

As resinas fenol-formaldeído são fabricadas por processo ácido ou alcalino, resultando em resinas ácidas ou novolacas, e resinas alcalinas ou resóis. Sua cura ocorre com temperaturas acima de 130°C, não sendo necessário reticulantes externos. Como características, tem-se o excelente comportamento térmico, alta resistência e bom funcionamento como isolante elétrico e térmico (BOM, [21--]). Ainda segundo o autor, a resina resorcina-formol é muito parecida com a resina fenol-formaldeído tendo a vantagem da cura a frio. Ela possui uma composição totalmente à prova d'água e a solventes, mais resistente que a própria madeira. Já a resina melamínica-formol tem como principal característica a possibilidade de inserir cor, já que a resina pura é incolor.

Outro tipo que pode ser utilizado são as resinas poliéster, as quais possuem grupos ésteres e são obtidas da reação de condensação de um diálcool com um diácido (CASTRO, 2003). Segundo dados da Embrapol ([21--]) e da Silaex ([21--]), as resinas poliéster são divididas em cinco tipos, sendo eles a ortoftálica, uma resina mais comum de menor custo para usos básicos não nobres; tereftálica, possui resistências físicas superiores à anterior com baixa resistência UV; isoftálica que possui características mecânicas, químicas e térmicas superiores às anteriores; a isoftálica com NPG (FIGURA 10), que melhora a resistência em

situações de exposição à água; e por fim, a bisfenólica, que possui melhores características químicas e térmicas.

Figura 10 – Resina isoftálica com NPG



Fonte: Silaex ([21--]).

Além das resinas, os aglomerantes podem ser minerais, como cimento Portland e gesso. Na utilização de aglomerantes minerais, a serragem passa por um banho mineralizador, como banho em cloreto de cálcio diluído, que já atua como acelerador de pega do cimento (BAUER, 2016).

2.5.4 Propriedades físicas e mecânicas

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas dos painéis são fundamentais para determinar se é possível a sua aplicação, seja na construção civil ou nos demais campos de aplicação (CASTRO; SOUZA; TELES, 2012).

A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) define os ensaios para obter os resultados das propriedades físicas que são densidade, inchamento e absorção, e das propriedades mecânicas, como resistência à tração perpendicular e superficial, resistência à flexão estática, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), além da resistência ao arrancamento de parafusos, que é considerado um ensaio suplementar.

Para cada tipo de painel MDP, desde o tipo P2 ao tipo P7 (conforme Quadro 1), a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) define quais são os ensaios que devem ser realizados de acordo com o tipo de aplicação. Além disso, a norma define os valores mínimos e/ou máximos que os painéis devem apresentar para atender aos requisitos mínimos para sua aplicação.

Entre as vantagens dos painéis aglomerados são de suma importância a uniformidade das propriedades físico-mecânicas ao longo do painel, além do controle destas propriedades através das variações que podem ser impostas no seu processo de produção, como o tipo da

resina e a quantidade aplicada, a granulometria e dimensões das partículas além da pressão e a temperatura que a chapa é submetida durante a cura (IWAKIRI et al., 2005).

Para Matos (1988) uma das etapas mais importantes na confecção dos painéis aglomerados é a prensagem, pois é nesse momento que se determina o desempenho do material. Nesta etapa da produção, vários fatores como a pressão, a temperatura e o tempo estão atuando diretamente nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. A temperatura acelera o processo de cura da resina, a pressão atua no contato entre as lâminas e o tempo é o necessário para a cura do painel.

Trianoski et al. (2015) avaliam em seu estudo as propriedades dos aglomerados com diferentes gramaturas e tempos de prensagem e concluíram que ambas as variáveis contribuíram para as propriedades de resistência e rigidez, também, o aumento da gramatura melhora as propriedades de flexão estática e o tempo de prensagem contribui na melhora dos módulos de ruptura e elasticidade, devido à melhor cura e polimerização da resina.

Haselein et al. (2002) afirmam que um dos fatores que determina as propriedades de uma chapa aglomerada é a geometria das partículas, além de outros fatores como a resina, os aditivos que podem ser empregados e as condições de prensagem. Vital et al. (1992) fala que partículas curtas e espessas melhoram a resistência à tração perpendicular mas reduzem os módulos de ruptura e de elasticidade.

2.5.5 Requisitos para comercialização

Segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) os painéis MDP ou comumente conhecidos como painéis aglomerados devem atender aos requisitos gerais e, para casos específicos de aplicações, os parâmetros específicos para cada tipo de uso. Estes requisitos são definidos nesta norma de acordo com o tipo de painel e sua aplicação, bem como, os procedimentos de ensaios. O Quadro 2 apresenta os requisitos gerais mínimos para os painéis MDP e os anexos da norma que explicam o método de ensaio para verificação destes requisitos.

Quadro 2 – Requisitos gerais de comercialização de painéis MDP

Propriedades	Métodos de ensaio	Requisitos	
Espessura	Anexo B	$(\pm) 0,3 \text{ mm}$	
Largura e comprimento	Anexo C	$(\pm) 5 \text{ mm}$	
Esquadro	Anexo D	$\leq 2 \text{ mm/m}$	
Retilidade	Anexo E	$\leq 1,5 \text{ mm/m}$	
Teor de umidade	Anexo F	5% a 13%	
Tolerância em relação à densidade média	Anexo G	$(\pm) 7\%$	
Teor de emissão de formaldeído		Classe E1	Classe E2
Painéis sem revestimento ou revestidos em uma face: método perfurador	Anexo H	$\leq 8\text{mg}/100\text{g}$	$> 8\text{mg}/100\text{g}$ e $\leq 30 \text{ mg}/100\text{g}$
Painéis revestidos nas duas faces: método gas analysis	Anexo I	$\leq 3,5\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$	$> 3,5\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ e $\leq 8,0 \text{ mg}/\text{m}^2\text{h}$

Fonte: Adaptado pelo autor segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Além dos requisitos gerais, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) define como propriedades suplementares para painéis aglomerados o empenamento, a resistência ao arrancamento de parafusos, a absorção superficial e o teor de sílica.

A ABIPA (2014) frisa a importância do atendimento destes requisitos mínimos, pois a utilização de painéis que não atendam essas propriedades podem trazer prejuízos aos consumidores, como o teor de emissão de formaldeído, que pode irritar a mucosa, causando dores de cabeça e irritabilidade, e painéis que não tenham resistência mecânica mínima para sua aplicação, podendo causar acidentes e tendo sua vida útil reduzida.

A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) determina ainda que além dos requisitos gerais, os painéis devem atender a requisitos mínimos de acordo com cada tipo de painel e para isso os mesmos precisam ser submetidos a diferentes tipos de ensaios, sendo eles:

Painel do tipo P2: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência à flexão estática, módulo de elasticidade, resistência à tração superficial.

Painel do tipo P3: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular; resistência à flexão estática, módulo de elasticidade, inchamento após ensaio cíclico, resistência à tração perpendicular após ensaio cíclico ou, resistência à tração perpendicular após ensaio em água em ebulição.

Painel do tipo P4: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade.

Painel do tipo P5: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência à flexão estática, módulo de elasticidade, inchamento após ensaio cíclico e resistência perpendicular após ensaio cíclico ou resistência à tração perpendicular após ensaio cíclico.

Painel do tipo P6: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade.

Painel do tipo P7: Inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência a flexão estática, módulo de elasticidade, inchamento após ensaio cíclico e resistência à tração perpendicular após ensaio cíclico ou resistência à tração perpendicular após ensaio em água em ebulição.

2.6 Utilização de resíduos em painéis de madeiras

Nos últimos anos, foram desenvolvidas inúmeras pesquisas sobre a incorporação de diversos tipos de resíduos na produção de painéis de madeira. Isso é possível, por ser um processo relativamente simples cujo composto principal é a madeira, que é facilmente compatível com outros materiais. Estes estudos são importantes pois além de buscarem desenvolver materiais com características diferentes buscam encontrar soluções para resíduos que seriam descartados e que podem ter potencial de aplicação em outras situações.

Zau et al. (2014) avaliaram as propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira Cumaru, da Amazônia, com resina poliuretana. Os autores produziram 24 painéis com diferentes quantidades de resíduo: 1000, 1300 e 1500 g e com teores de resina de 10, 12,5 e 15%. Foram determinados a densidade, razão de compactação, inchamento, absorção de água em 2 e 24 horas, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, adesão interna

e arrancamento de parafusos a partir de corpos de provas extraídos destes painéis. Verificou-se que a densidade e a razão de compactação aumentaram nos painéis com mais resíduo e maior quantidade de resina. Os painéis que mais incharam foram os menos densos e o teor de umidade mais baixo foi verificado na composição com maiores quantidades de resina. A maior absorção de água ocorreu nos painéis com menores quantidades de resíduo. Salvo o painel com 1000 g de resíduo e 10% de resina, os outros painéis ficaram com módulo de ruptura superior à norma, sendo que os melhores resultados foram dos painéis com maior razão de compactação. Os valores de módulo de elasticidade e arrancamento de parafusos foram satisfatórios e de adesão interna também ficou acima dos estipulados pela norma.

Guiotoko et al. (2008) utilizaram palitos de erva mate em seu estudo. Para isso, os mesmos foram moídos e passados em peneiras, sendo utilizadas no estudo duas granulometrias: a primeira do material que ficou retido na peneira de 0,35 mm e a segunda do material que passou da peneira de 0,35 mm e ficou retido na peneira de 0,25 mm. Já a resina utilizada foi a resina Cascamite PB 5070 (Hexion), em um teor de 20%. Outra variável do estudo foi o tratamento alcalino com NaOH dos palitos de erva mate, com intuito de avaliar as propriedades do painel devido a uma melhora da adesão entre fibra e matriz polimérica. Foram desenvolvidos cinco tipos de painéis com diferentes formulações entre os materiais de diferentes granulometrias e com as fibras com e sem tratamento alcalino. O resíduo moído misturado à resina foi prensado à frio em molde de madeira e metal, e o conjunto foi levado à estufa a temperatura de 100°C durante 12 horas.

Os corpos de provas foram submetidos a ensaios de inchamento e absorção de água após 2 e 24 horas, com isso os autores chegaram aos resultados de que após 2 horas o painel com três camadas, sendo as externas de maior diâmetro e a intermediária de menor, apresentou o pior resultado quanto ao inchamento. Já após 24 horas, o pior resultado foi do painel comercial, já o melhor resultado após 2 e 24 horas foi do painel que recebeu tratamento de NaOH. Já para o ensaio de absorção de água, o melhor resultado em 2 e 24 horas foi do painel comercial, e o pior para o painel com partículas maiores que 0,35 mm, extraídos com cicloexano/etanol na proporção 50:50.

Guimarães Junior et al (2016) avaliaram as qualidades físico-mecânicas de painéis aglomerados de eucalipto com adição do bagaço da cultura de sorgo. Os painéis possuíam 0, 15, 30 e 45% de resíduo e 12% de resina ureia-formaldeído. A prensagem ocorreu com pressão de 4 MPa, à 180°C durante 20 minutos. Nos ensaios físicos e mecânicos, observou-se

que todas as propriedades físicas atenderam a norma CD 236-66 e a cada 1% de sorgo acrescido, a absorção de água também aumentou em torno de 1,4 e 1,6%, em 2 e 24 horas respectivamente. Já o inchamento não alterou com a adição do sorgo, ficando 1,13% acima do exigido pela norma CS 236-66. Em relação às propriedades mecânicas, foi possível acrescentar somente 13% do resíduo do sorgo para atendimento da norma.

Por fim, Melo et al. (2009) confeccionaram seus painéis com madeira e casca de arroz nas proporções de 0, 20, 40, 60, 80 e 100%, com resina ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. Os painéis foram compostos por 91% de partículas, 8% de adesivo e 1% de parafina, a prensagem foi com pressão de 30 kgf/cm² durante 8 minutos e umidade do colchão de 12% para a resina ureia-formaldeído, aplicando-se a pressão por 10 minutos; e 20% de umidade para a resina tanino-formaldeído. Foram retirados corpos de provas dos painéis para a realização de ensaios de teor de umidade, massa específica, absorção d'água, inchamento após 2 e 24 horas, flexão estática, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna. Com o estudo, os autores concluíram que a adição da casca de arroz ocasionou uma menor estabilidade dimensional e resistência mecânica, sendo que os painéis com a resina tanino-formaldeído obtiveram desempenho superior. Apesar da casca de arroz ter afetado negativamente nas características das chapas, um percentual de até 10% de casca pôde ser inserido na produção de painéis aglomerados, mantendo as propriedades físico-mecânicas próximas das propriedades dos painéis feitos apenas com partículas de madeira. Esses resultados negativos podem ser explicados, em parte, pela dificuldade de colagem das partículas.

2.7 O bagaço do malte

O bagaço do malte é um resíduo proveniente da produção de cervejas, sendo gerado na etapa de preparo e filtração do mosto, e é o principal resíduo gerado na produção de cerveja, sendo que para cada 100 litros de cerveja produzida, são gerados 20 kg de resíduo (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Segundo Barros (2011), o Brasil produziu, no ano de 2010, 12,6 bilhões de litros de cerveja, apresentando um aumento de 18% com relação ao ano de 2009, se tornando o terceiro maior produtor de cerveja mundial, estando atrás da China, com 40 bilhões de litros, e

Estados Unidos da América, com 35 bilhões de litros. Verificando estes dados, pode-se ter ideia da enorme quantidade de resíduos que o setor gera.

Levando em consideração a grande quantidade de resíduo gerada, o descarte do bagaço do malte torna-se um grande problema ambiental. Segundo Santos e Ribeiro (2005) devido ao seu alto valor nutritivo, a maioria das empresas do setor o envia para uso em alimentação animal. Já para Mussatto, Dragone e Roberto (2006), além da nutrição animal, o resíduo pode ser utilizado na nutrição humana como ingrediente na produção de pães integrais e biscoitos, também na produção de carvão vegetal, na produção de tijolos aumentando sua porosidade devido à grande quantidade de material fibroso como celulose, polissacarídeos e lignina, na fabricação de papel e em processos biológicos.

O Vale do Taquari, atualmente, possui duas fábricas de cervejas artesanais com grande representatividade no mercado da região e do estado, sendo elas a Prost Bier, que conta com capacidade de produção de 600.000 litros por mês (PROST BIER, [20--]) e a Salva, com capacidade de produção de 150.000 litros de cerveja por mês (SALVA, [20--]), acarretando em uma grande quantidade de resíduo de bagaço do malte gerado na região.

Florindo (2017) desenvolveu compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço do malte, onde justificou o uso deste material devido à grande quantidade gerada pela produção cervejeira e pela má destinação deste produto, que acaba se tornando um poluente ambiental. Em sua pesquisa, a autora concluiu que as fibras do bagaço de malte apresentam características térmicas parecidas com as demais fibras mas que possui densidade superior a maioria das resinas termoplásticas, com isso, os resultados obtidos não são significativos para esse tipo de utilização, sendo necessário tratamentos químicos para melhorar a estrutura do resíduo, buscando melhorar a adesão fibra-resina.

Ao longo da pesquisa bibliográfica, não foram encontrados outros trabalhos onde se tenha utilizado o bagaço de malte para a produção de painéis de madeira aglomerada, logo, isto se torna um limitante desta pesquisa, visto que não há bibliografia de painéis aglomerados produzidos com adição deste tipo de resíduo. Assim, foram utilizados trabalhos onde foram incorporados outros tipos de resíduos como base para a pesquisa desenvolvida neste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, apresentam-se os materiais e a metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho para a confecção dos painéis, na retirada dos corpos de prova e realização dos ensaios de caracterização. Neste estudo, o objetivo era verificar a viabilidade de produzir painéis de madeira aglomerada com resíduo de madeira de eucalipto e bagaço do malte, e classificá-los como painéis do tipo P2 – Painéis não estruturais para uso interno em condições secas, classificados assim segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013). Todo o processo de produção, retirada de corpos de prova e ensaios foram realizados com base nessa norma.

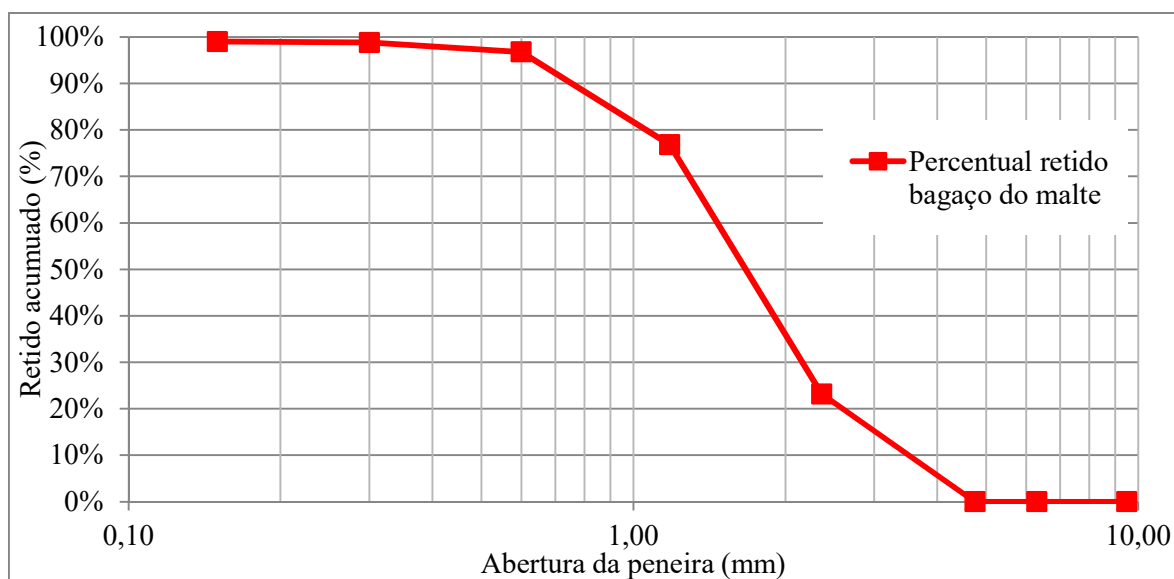
O desenvolvimento das placas bem como os ensaios de caracterização ocorreram no Laboratório de Tecnologia da Construção (Latec) e no Laboratório de Processos de Fabricação da Universidade do Vale do Taquari – Univates, localizados no prédio 17.

3.1 Materiais

Foi utilizado resíduo de madeira de eucalipto de reflorestamento, proveniente de uma serraria localizada no município de Boqueirão do Leão/RS, e bagaço do malte, que foi fornecido por dois produtores de cerveja artesanal, deste mesmo município. O bagaço do malte foi lavado com água pura e seco em estufa a 60°C. Antes da moldagem das placas, ambos os materiais foram secos novamente em estufa à temperatura de 60°C durante 12 horas, com a finalidade de retirar a umidade que possam ter absorvido do ambiente. Após

seco, o bagaço do malte foi classificado granulometricamente pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), conforme apresentado na Figura 11, onde pode-se verificar que o material apresenta maior quantidade de finos, visto que todo o material passou pela peneira de 4,75 mm, ficando 23,19% do material retido na peneira 2,36 mm, 53,64% retido na peneira 1,18 mm e praticamente o restante do material, com 19,95% retido na peneira 0,6 mm. Já a serragem foi peneirada na peneira de 6,3 mm, buscando retirar o material mais grosseiro.

Figura 11 – Classificação granulométrica do bagaço do malte



Fonte: Do autor (2018).

A resina utilizada nos ensaios preliminares foi do tipo poliéster isoftálica com neopentil glicol (NPG) da Fiberglass, com catalisador Butanol m-50 e acelerador do tipo cobalto 3%. Já para as placas das quais foram retirados os corpos de prova, utilizou-se a mesma resina tipo poliéster isoftálica com NPG da Fiberglass, porém, já acelerada, ou seja, não sendo necessário adição do acelerador do tipo cobalto 3%. Neste caso, a quantidade de catalisador se manteve a mesma. A escolha da resina deve-se ao fato de não ter disponível prensa térmica, que seria necessário para a utilização das resinas fenol-formaldeído ou uréia-formaldeído, que são as mais utilizadas na literatura. Assim, adotou-se a resina poliéster por permitir a cura à temperatura ambiente.

Os materiais utilizados neste trabalho estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 – Aparência dos materiais utilizados na confecção dos painéis. A) Serragem; B) Bagaço de malte; C) Resina poliéster isoftálica com NPG



Fonte: Do autor (2018).

A resina foi misturada com o acelerador tipo cobalto 3% e após, com o catalisador Butanol m-50, conforme orientações da Fiberglass. Para definir as quantidades, foram realizados testes, buscando encontrar a melhor proporção de catalisador para o tempo de cura desejado. Assim, foram feitas quatro amostras, cada uma com 1% de acelerador e variando de 2 a 5% o catalisador. Após este teste, adotou-se a proporção de 3% de catalisador em ambas as resinas, para a confecção das placas, tendo em vista que nessa proporção obteve-se tempo de cura da resina de 15 minutos, que seria um tempo adequado para realizar a mistura e prensar a placa. A Figura 13 ilustra as amostras dos testes realizados.

Figura 13 – Testes realizados para obter melhor proporção de catalisador



Fonte: Do autor (2018).

3.2 Moldagem dos painéis

Para as moldagens dos painéis foram testadas diferentes proporções entre os materiais. As proporções de resíduo de madeira de eucalipto, de bagaço do malte e de resina adotadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Proporção dos materiais para formação dos painéis

	Resíduo da madeira de eucalipto (%)	Bagaço do malte (%)	Resina tipo poliéster com NPG (%)
E100B0-10	100	0	10
E50B50-10	50	50	10
E0B100-10	0	100	10
E100B0-20	100	0	20
E50B50-20	50	50	20
E0B100-20	0	100	20
E100B0-30	100	0	30
E50B50-30	50	50	30
E0B100-30	0	100	30

Fonte: Do autor (2018).

As amostras foram nomeadas de acordo com as proporções de materiais pelas quais elas foram formadas, sendo para a madeira de eucalipto adotada a letra E e para o bagaço do malte e letra B, assim, a nomenclatura define a quantidade de cada material, 0, 50 ou 100%, e após, a quantidade de resina em relação à massa seca das partículas, 10, 20 ou 30%. Salienta-se que para a definição das proporções foi considerado que a resina irá ocupar os vazios entre as partículas secas e com isso não foi contabilizada no percentual da formulação.

Segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) os painéis de madeira aglomerada possuem densidade entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³, sendo assim, adotou-se a densidade de 650 kg/m³ para os painéis, cujo volume é de 0,000555 m³, segundo as dimensões do molde. Com isso, calculou-se a massa de partículas de madeira e de bagaço do malte necessários utilizando a Equação 1, conforme indicado por Alves (2013).

$$D = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Onde:

D = Densidade nominal do painel

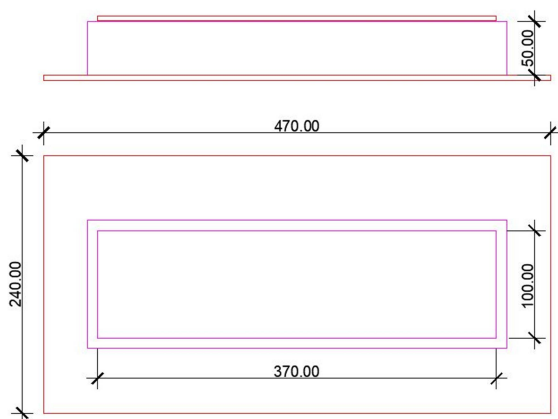
M = Massa de partículas

V = Volume do painel

Com a massa das partículas, obteve-se a proporção para cada tipo de resíduo e de resina, conforme a Tabela 3. Os materiais foram misturados manualmente adicionando primeiramente as partículas secas de eucalipto e de bagaço do malte, seguido da resina já acelerada e catalisada. Por fim, a mistura foi adicionada ao molde, no qual utilizou-se um desmoldante, do tipo cera de carnaúba.

O molde para confecção das placas foi desenvolvido no decorrer da pesquisa, conforme o projeto apresentado na Figura 14, e fabricado em uma tornearia da cidade de Estrela/RS, ficando conforme apresentado na Figura 15. O mesmo foi desenvolvido com chapas metálicas com espessura de 9,5 mm e com as dimensões internas de 370 x 100 x 50 mm. A chapa inferior possui dimensões de 470 x 240 mm.

Figura 14 – Projeto do molde para confecção dos painéis



Fonte: Do autor (2018).

Figura 15 – Molde para confecção dos painéis



Fonte: Do autor (2018).

Para a prensagem das placas, utilizou-se a prensa hidráulica modelo Kraft 40T, disponível no Laboratório de Processos de Fabricação. A pressão efetiva aplicada sobre o molde foi de 4,8 MPa, conforme Iwakiri et al. (2012) e Guimarães Junior et al. (2016), sendo esta aplicada por 15 minutos. A pressão efetiva aplicada foi calculada utilizando a Equação 2.

$$Pe = \frac{Pm \times At}{Am} \quad (2)$$

Onde:

Pe = Pressão efetiva

Pm = Pressão manométrica lida na prensa

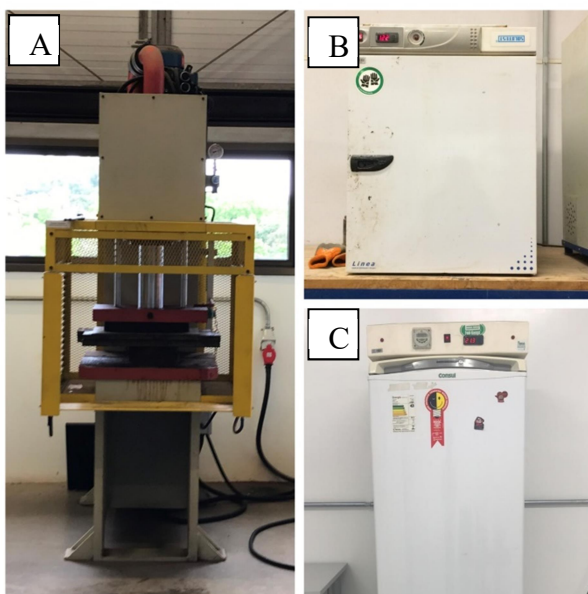
At = Área total dos pistões

Am = Área do molde

Após os 15 minutos de prensagem, a placa permaneceu dentro do molde e foi acondicionada à estufa modelo Linea 80 da marca Solotest, com temperatura de 70°C por 24 horas, para que ocorresse a pós cura da resina. Ao fim deste período, os painéis foram desmoldados e levados para o corte e retirada dos corpos de prova. Estes corpos de prova foram acondicionados em câmara climática, da marca Biopar modelo B0D34OLF, onde permaneceram até serem estabilizados em $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de $20 \pm$

3°C, até que fosse obtida a massa contante. A massa contante é determinada, segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013), quando o resultado de duas pesagens subsequentes em um período mínimo de 6 horas não difere em 0,1%. Já os corpos de prova utilizados no ensaio de teor de umidade permaneceram no Latec à umidade e temperatura ambiente até a realização do ensaio. A Figura 16 ilustra os equipamentos utilizados no processo.

Figura 16 – Equipamentos utilizados para a confecção e estabilização dos painéis: A) Prensa Kraft 40T; B) Estufa Solotest; C) Câmara Climática



Fonte: Do autor (2018).

3.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram retirados dos painéis produzidos utilizando régua e caneta para definir as dimensões e uma serra circular elétrica para o recorte. A Tabela 4 apresenta as dimensões dos corpos de provas para cada tipo de ensaio, sendo que cada ensaio foi realizado em triplicata.

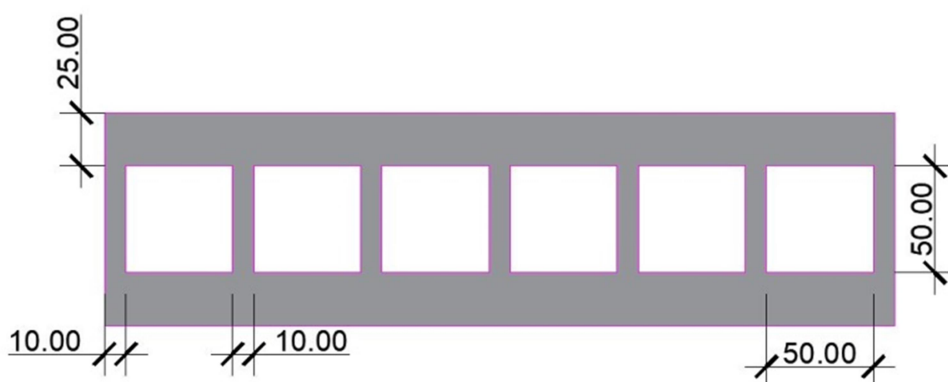
Tabela 4 – Dimensões dos corpos de provas para cada tipo de ensaio

Propriedades	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Quantidade de corpos de provas
Teor de umidade	50	50	3
Densidade	50	50	3
Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade	$20 \times \text{espessura} + 50 = 20 \times 15 + 50 = 350$	50	3
Inchamento durante 24h	50	50	3
Resistência ao arrancamento de parafusos	50	50	6

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

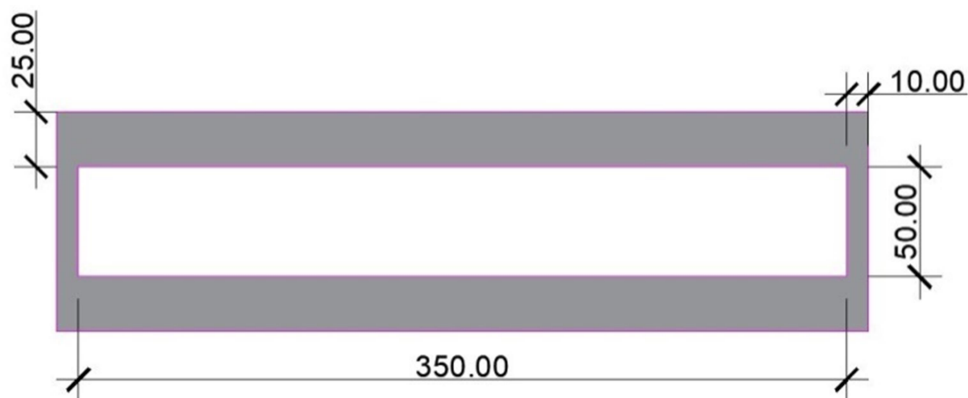
A Figura 17 apresenta o plano de corte para retirada dos corpos de prova dos painéis, salvo para os corpos de prova dos ensaios de resistência à flexão estática, que estão apresentados na Figura 18, denominados Plano de corte 01 e Plano de corte 02, respectivamente.

Figura 17 – Plano de corte 01



Fonte: Do autor (2018).

Figura 18 – Plano de corte 02



Fonte: Do autor (2018).

Levando em consideração as diferentes composições que foram propostas e que estão apresentadas na Tabela 3 e as quantidades de corpos de provas necessários para os ensaios em triplicata apresentados na Tabela 4, seriam necessários confeccionar 3 painéis com Plano de corte 01 e 3 painéis com Plano de corte 02 para cada proporção adotada. Logo, seriam confeccionados 27 painéis com Plano de corte 01 e 27 painéis com Plano de corte 02, totalizando 54 painéis. Porém, não foi possível produzir painéis com todas as formulações, pois alguns não atingiram a resistência mecânica necessária para serem manuseados.

3.4 Ensaios

Os ensaios foram desenvolvidos com base nos anexos F, G, K, L e Q da NBR 14810-2 (ABNT, 2013), que fazem referência aos ensaios propostos e seguem a ordem apresentada.

3.4.1 Determinação do teor de umidade

Neste ensaio foram utilizados três corpos de prova de 50 x 50 mm. Os equipamentos utilizados foram uma balança com resolução mínima de 0,1 g e uma estufa com termostato regulador.

Após a retirada dos corpos de prova dos painéis e sem a inclusão dos mesmos na câmara climática, registrou-se a massa como sendo a “massa úmida”. Em seguida, os mesmos foram colocados em estufa com temperatura de 103 ± 2 °C até que a massa não

alterasse em 0,1% num intervalo mínimo de 6 horas. Após a retirada da estufa, os corpos de prova foram pesados novamente, sendo esta classificada como “massa seca”.

Para calcular o teor de umidade utilizou-se a Equação 3.

$$U = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

U = Teor de umidade

MU = Massa úmida

MS = Massa seca

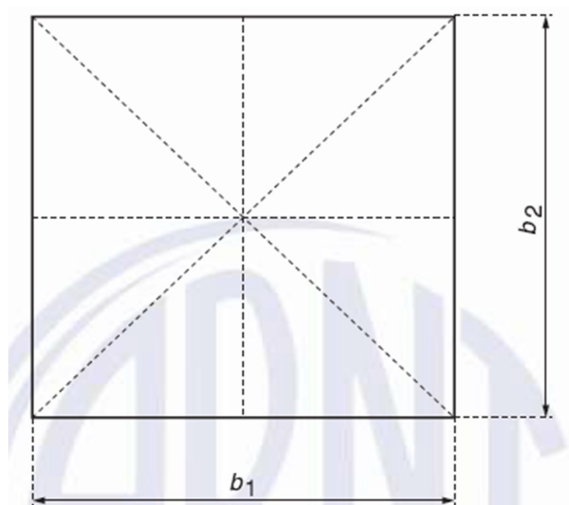
A média dos resultados é o teor de umidade, com precisão de 0,1%. Para todos os tipos de painéis, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) determina que o valor permaneça entre 5 e 13%.

3.4.2 Determinação da densidade

Para a determinação da densidade, foram utilizados um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, uma balança com resolução de 0,1 g e câmara climática. Os corpos de prova possuíam dimensões de 50 x 50 mm e foram estabilizados com $65 \pm 5\%$ de umidade e temperatura de 20 ± 3 °C.

Estes foram pesados com precisão de 0,1 g e após, utilizando um paquímetro digital mediu-se a espessura dos mesmos no ponto de interseção das diagonais e foram medidas as dimensões laterais do corpo de prova, definidos na Figura 19 como b1 e b2.

Figura 19 – Local da medição da espessura e das dimensões do corpo de prova



Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

O resultados foram calculados segundo a Equação 4.

$$D = \frac{M}{V} \times 1.000.000 \quad (4)$$

Sendo V calculado através da Equação 5.

$$V = b1 \times b2 \times e \quad (5)$$

Onde:

D = Densidade do corpo de prova em Kg/m³

M = Massa do corpo de prova em gramas

V = Volume do corpo de prova em mm³

b1 e b2 = Dimensões do corpo de prova em mm

e = espessura do corpo de prova em mm

Após, foi calculada a densidade média com precisão de 1 kg/m³. Com a Equação 6 foi determinada a variação da densidade em relação à densidade média com variação de 1%.

$$D\% = \frac{(D - D_{méd})}{D_{méd}} \times 100 \quad (6)$$

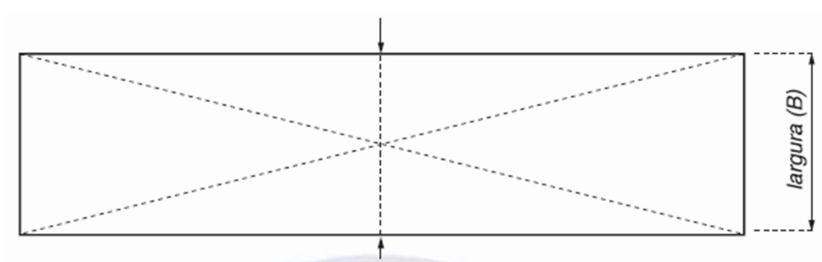
A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) define que a tolerância da densidade do painel para a densidade média deve ser de $\pm 7\%$.

3.4.2 Determinação da resistência à flexão estática (MOR)

Para a determinação de MOR foi utilizada a prensa modelo NS035 5T da Contenco, onde foram feitas adaptações para possibilitar o ensaio, sendo que os apoios metálicos possuíam diâmetro de 30 ± 5 mm. Também utilizou-se paquímetro digital com precisão de 0,1 mm, escala milimetrada e câmara climática. Os corpos de prova eram retangulares e possuíam dimensão conforme determinado na Tabela 4, onde adotou-se para este ensaio painéis de 350 x 50 mm, os quais foram estabilizados em câmara climática com umidade igual a $65 \pm 5 \%$ e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Para a realização do ensaio, em um primeiro momento e utilizando o paquímetro, realizou-se a medição da espessura dos corpos de provas no ponto de interseção das diagonais, bem como a largura passando pelo ponto de intersecção das transversais. Na Figura 20 demonstram-se os pontos de medição.

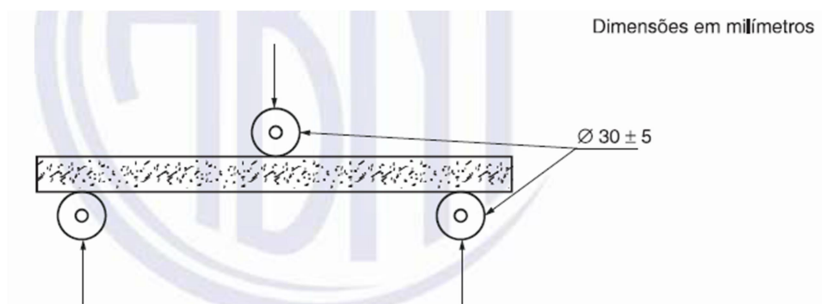
Figura 20 – Pontos de medição do corpo de prova



Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

O posicionamento do corpo de prova na máquina universal de ensaios foi feito conforme apresentado na Figura 21, como pode ser verificado na Figura 22.

Figura 21 – Posicionamento do corpo de prova na prensa



Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Figura 22 – Realização do ensaio de flexão estática



Fonte: Do autor (2018).

Para a realização do ensaio o indicador de carga da máquina universal de ensaios foi zerado, e a máquina foi acionada com velocidade constante para que a ruptura ocorresse no intervalo de 60 ± 30 segundos. Anotou-se o valor da força de ruptura lido no indicador de cargas da prensa.

Para calcular a resistência à flexão estática utilizou-se a Equação 7.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR = Módulo de resistência à flexão estática em N/mm^2

P = Carga de ruptura em N

D = Distância entre os apoios em mm

B = Largura do corpo de prova em mm

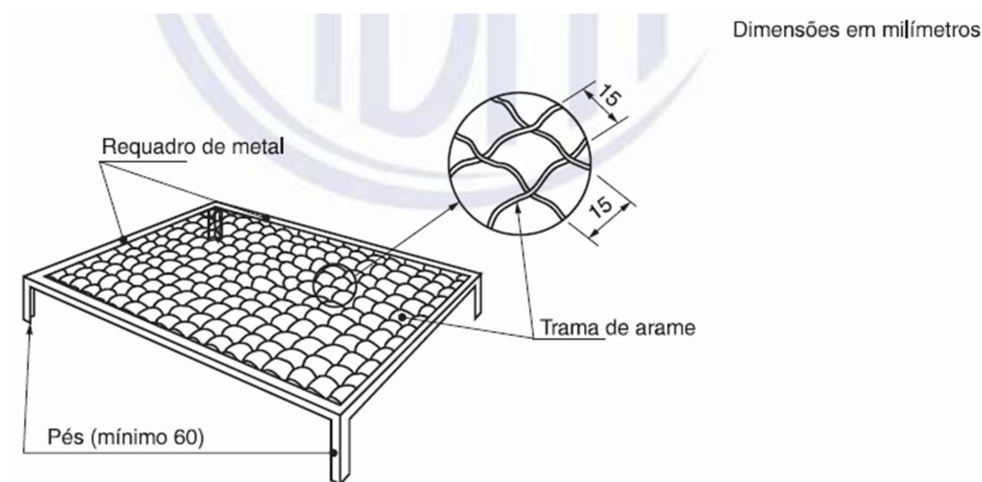
E = Espessura do corpo de prova em mm

O resultado do ensaio é a média dos resultados dos corpos de provas, em N/mm^2 , com precisão de 1 N/mm^2 . A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) determina para os painéis do tipo P2 de 15 mm de espessura que a resistência à flexão estática deve ser de no mínimo 11 N/mm^2 .

3.4.4 Determinação do inchamento durante 24 horas

O ensaio de determinação de inchamento durante 24 horas foi realizado utilizando um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, um recipiente com água com temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, termômetro, um dispositivo para manter os corpos de prova submersos, conforme apresentado na Figura 23, e câmara climática.

Figura 23 – Dispositivo para submersão de corpos de prova em água



Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Os corpos de prova medindo $50 \times 50 \text{ mm}$ estabilizados em câmara climática com umidade de $65 \pm 5 \%$ e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ tiveram sua espessura medidas no ponto de intersecção das diagonais. Um recipiente foi enchido com água a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ de modo que o nível ficasse 25 mm acima da superfície superior dos corpos de prova e então os corpos de prova foram colocados no recipiente.

Após 24 horas, os corpos de prova foram retirados do recipiente e realizou-se a medição das espessuras, do mesmo modo que foram realizadas antes da imersão, com

resolução de 0,01 mm, anotando os valores e o tempo de imersão. O resultado foi calculado segundo a Equação 8.

$$I = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

I = Inchamento do corpo de prova em %

E1 = Espessura do corpo de prova em mm após a imersão

E0 = Espessura do corpo de prova em mm antes da imersão

O resultado do ensaio é a média dos resultados de cada corpo de prova com precisão de 0,1%. Para os painéis com espessura de 15 mm do tipo P2, o inchamento máximo permitido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013) é de 18%.

3.4.5 Determinação da resistência ao arrancamento de parafusos

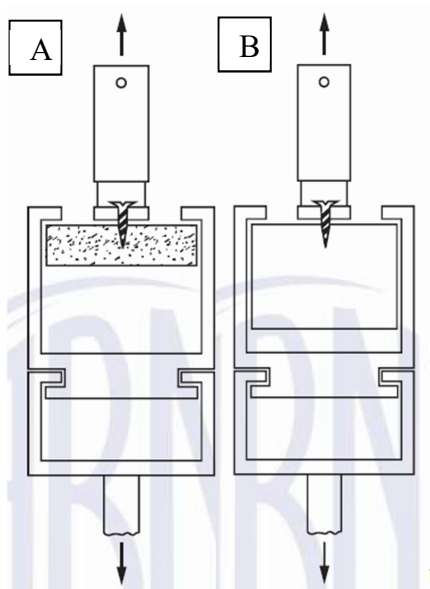
Para a realização deste ensaio utilizou-se uma chave de fenda, um aderímetro digital de 1500 kgf da marca Solotest e parafusos para madeira com diâmetro de 3,8 mm, 40 mm de comprimento e passo da rosca de 1,4 mm. O parafuso foi colado à uma peça metálica redonda com Poxipol, sendo que essa peça possui uma rosca onde o equipamento foi rosqueado para a realização do ensaio. Os corpos de prova foram fixados em uma bancada permitindo a realização do ensaio.

Foram utilizados 3 corpos de prova com dimensões de 50 x 50 mm para o ensaio de arrancamento na superfície e 3 para o ensaio de arrancamento no topo. Os corpos de prova foram estabilizados em câmara climática, com umidade de 60 ± 5 % e temperatura de 20 ± 3 °C. O parafuso foi introduzido no corpo de prova com o auxílio de uma chave de fenda, com uma profundidade de $15 \pm 0,5$ mm, centralizado no corpo de prova.

A Figura 24 ilustra como os parafusos foram inseridos nos corpos de prova, para o ensaio de superfície e para o ensaio de topo. Assim, o aparelho foi encaixado ao corpo de prova, o leitor de carga foi zerado e procedeu-se a realização do ensaio, sendo anotados os

valores indicados no leitor de cargas em Kgf. O resultado foi a média dos valores obtidos nas leituras do indicador de carga, expresso em Newtons, com precisão de 0,1 N.

Figura 24 – Representação da inserção dos parafusos nos corpos de prova: (A) Ensaio de superfície; (B) Ensaio de topo



Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

A Figura 25 apresenta uma imagem do ensaio realizado, bem como as adaptações que foram feitas para a sua realização.

Figura 25 – Realização do ensaio de arrancamento de parafusos



Fonte: Do autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresenta-se como foram moldados todos os painéis feitos ao longo da pesquisa, as proporções adotadas bem como os resultados dos ensaios realizados nas placas com diferentes proporções, com as quais foi possível realizar os ensaios.

4.1 Testes preliminares

Inicialmente, foram realizados testes buscando conhecer melhor os materiais a serem empregados na pesquisa bem como os equipamentos disponíveis e as adaptações que seriam necessárias para a confecção dos painéis. Sendo assim, a primeira placa produzida foi a E0B100-10, com 1% de acelerador e 2% de catalisador. Neste primeiro teste, utilizou-se um molde com altura de 15 mm, o qual não suportou o volume de material necessário para se obter a densidade desejada. Além disto, para a prensagem da placa foi utilizada a máquina universal PC200CS da EMIC que, devido ao seu curso limitado, exigiu que fossem realizadas inúmeras adaptações para que a prensagem ocorresse. Porém, a pressão aplicada não foi o suficiente para a correta prensagem e cura da resina, com isto esta placa não aglomerou, vindo a ser descartada.

Após o primeiro teste, o molde foi substituído por outro cujas laterais tinham altura de 50 mm, sendo que, para obter a espessura desejada de 15 mm, houve uma mudança no projeto inicial do molde para que a prensa adentrasse dentro dos limites do mesmo. Assim, procedeu-se a prensagem de mais uma placa com as mesmas proporções que a primeira (E0B100-10) com 1% de acelerador e 2% de catalisador, com cura de 24 horas em temperatura ambiente. Quando esta placa foi desmoldada, apresentou aspecto frágil, não suportando o manuseio.

Além disso, apresentou espessura superior aos 1,5 mm desejados. Esta placa está apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Placa E0B100-10 moldada com 1% de acelerador e 2% de catalisador, cura em temperatura ambiente por 24 horas



Fonte: Do autor (2018).

Na terceira tentativa, buscando aplicar uma pressão maior na placa, passou-se a utilizar a prensa Kraft 40T, disponível no Laboratório de Processos de Fabricação da Engenharia Mecânica. A terceira placa a ser moldada também foi a E0B100-10, com 1% de acelerador e 2% de catalisador, sendo aplicada uma pressão efetiva de 2,4 MPa por 15 minutos e tempo de cura de 24 horas em temperatura ambiente. Esta placa também não apresentou as características desejadas, ficando com 2,5 cm de espessura e não apresentando resistência alguma, conforme apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Placa E0B100-10 moldada com 1% de acelerador 2% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos e cura em temperatura ambiente por 24 horas



Fonte: Do autor (2018).

Buscando verificar se a cura nas placas não ocorria da forma desejada devido a algum problema relacionado com o bagaço do malte, optou-se por moldar a quarta placa do tipo E100B0-10, ou seja, utilizando 100% de serragem, com os mesmos 10% de resina, 1% de acelerador e 2% de catalisador. A placa foi prensada com pressão de 2,4 MPa por 15 minutos,

e desmoldada imediatamente após a prensagem, vindo a esfarelar e não apresentando nenhuma resistência.

A quinta placa a ser moldada foi a E50B50-10, mantendo 10% de resina e 1% de acelerador, mas adicionando 3% de catalisador, por ser o melhor resultado encontrado nos testes realizados com a resina e explicado no capítulo 3 deste trabalho. A placa foi prensada novamente com pressão de 2,4 MPa por 15 minutos e permaneceu em temperatura ambiente por 24 horas, com mais 2 horas de pós cura em estufa à temperatura de 70°C. Após a desmoldagem, a mesma apresentou certa resistência e boa aparência, conforme se apresenta na Figura 28, porém, na tentativa de cortar a placa para a retirada dos corpos de prova, a mesma não apresentou resistência, vindo a romper.

Figura 28 – Placa E50B50-10 moldada com 1% de acelerador e 3% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente mais pós cura em estufa à 70°C por 2 horas



Fonte: Do autor (2018).

Em uma nova tentativa, moldou-se outra placa, porém agora a E50B50-20, ou seja, adicionando 20% de resina, 1% de acelerador e 3% de catalisador, com pressão efetiva de 2,4 MPa durante 15 minutos. Após a prensagem, a placa permaneceu por 24 horas em temperatura ambiente e foi realizado pós cura em estufa, à 70°C por 3 horas. O resultado encontrado foi satisfatório, pois a placa apresentou boa resistência, entretanto, apresentou espessura superior a 2 cm, o que pode ser explicado pela baixa pressão aplicada e pela cura da resina não ocorrer no momento da prensagem. A Figura 29 ilustra a aparência desta placa.

Figura 29 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador e 3% de catalisador, pressão de 2,4 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa à 70°C por 3 horas



Fonte: Do autor (2018).

Buscando melhorar a qualidade das placas e atingir a espessura desejada, optou-se por alterar as dimensões do molde, diminuindo suas dimensões pela metade, fazendo assim com que seja despendida uma pressão de 4,8 MPa sobre o mesmo, ficando esta pressão dentro do intervalo dos trabalhos consultadas, que é de 4 MPa para Guimarães Junior et al (2016) e Guiotoko et al (2008), e de 5 MPa conforme Zau et al (2014). Também, buscando melhorar os resultados, optou-se pela inclusão de emulsão de parafina na proporção de 1% na mistura das partículas secas, e ainda, buscando a cura imediata da resina, aumentou-se a proporção de catalisador para 5%, na tentativa da cura ocorrer imediatamente na hora da prensagem, e assim, atingindo a espessura de 1,5 cm proposta.

Com essas novas medidas adotadas, moldou-se uma nova placa E50B50-20. A placa foi prensada por 15 minutos, com pressão efetiva de 4,8 MPa, calculada conforme a Equação 2, e desmoldada imediatamente após a retirada da prensa. Conforme pode-se verificar na Figura 30, essa tentativa não foi bem sucedida, tendo a placa não suportado a desforma e apresentando aspecto frágil.

Figura 30 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador, 5% de catalisador, 1% de emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos



Fonte: Do autor (2018).

Tendo em vista o resultado apresentado pela placa moldada anteriormente, foi confeccionada outra placa E50B50-20 com os mesmos parâmetros, todavia, a quantidade de catalisador foi reduzida para 3% novamente, tendo em vista que foi com este teor que se obteve os melhores resultados até aquele momento. A pressão de 4,8 MPa foi aplicada durante 15 minutos, após, o molde permaneceu em temperatura ambiente por 24 horas mais 3 horas a 70°C em estufa. Após a desmoldagem, a placa apresentou boa aparência e boa resistência ao manuseio, como pode ser verificado na Figura 31. Após a desforma, a placa permaneceu no Latec para que fossem retirados os corpos de prova, porém, quando foi manuseada novamente para que fosse realizada a retirada dos corpos de prova, a mesma apresentou aspecto frágil, vindo a se romper, como pode ser verificado na Figura 32.

Figura 31 – Placa E50B50-20 moldada com 1% de acelerador, 3% de catalisador, 1% de emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos, cura em temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa à 70°C por 3 horas



Fonte: Do autor (2018).

Figura 32 – Placa E50B50-20 danificada após manuseio



Fonte: Do autor (2018).

Em outra tentativa, foram moldadas mais duas placas, com as mesmas proporções adotadas anteriormente, na amostra E50B50-20, com 1% de acelerador e 3% de catalisador, pressão de 4,8 MPa durante 15 minutos, cura a temperatura ambiente por 24 horas mais 3 horas em estufa, sendo retirada da formulação a emulsão de parafina. Ao serem desmoldadas, as placas apresentaram certa resistência ao manuseio, mas nas bordas possuíam falhas, conforme a Figura 33.

Figura 33 – Placas E50B50-20 moldadas com 1% de acelerador, 3% de catalisador e sem emulsão de parafina, pressão de 4,8 MPa durante 15 minutos, cura a temperatura ambiente por 24 horas e pós cura em estufa por 3 horas

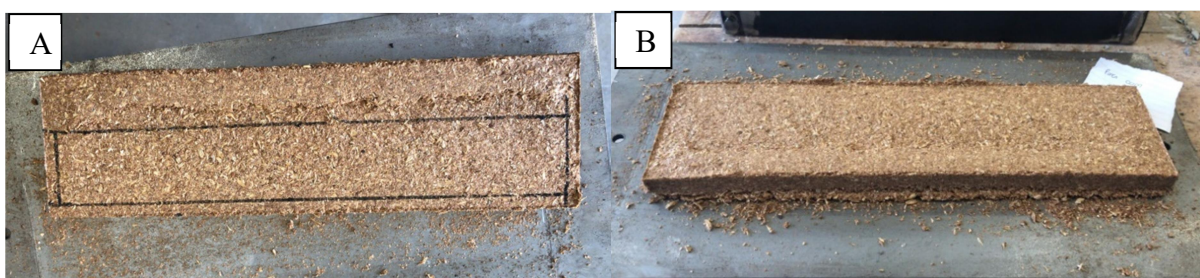


Fonte: Do autor (2018).

Tendo em vista os resultados obtidos e buscando fazer com que a cura da resina ocorresse de modo que as placas não viessem a romper no momento da desmoldagem, optou-se pela mudança no processo de cura, deixando que o mesmo ocorresse diretamente em estufa à 70°C, ou seja, após a prensagem de 15 minutos com pressão de 4,8 MPa, o conjunto molde/placa foi alocado em estufa por 24 horas, e após esse processo, ocorreu desmoldagem da placa. Assim, com esse novo procedimento, foram moldadas mais duas placas, uma E50B50-20 e uma E50B50-30, com resina previamente acelerada e 3% de catalisador. Após o

processo de cura adotado, as placas foram desmoldadas e os resultados foram satisfatórios, sendo que ambas as placas apresentaram boa resistência quanto ao manuseio além de boa aparência, todavia, apresentaram espessura de 20 mm, ficando acima do proposto inicialmente. Na Figura 34 estão apresentadas as placas com 20 e 30% de resina, respectivamente.

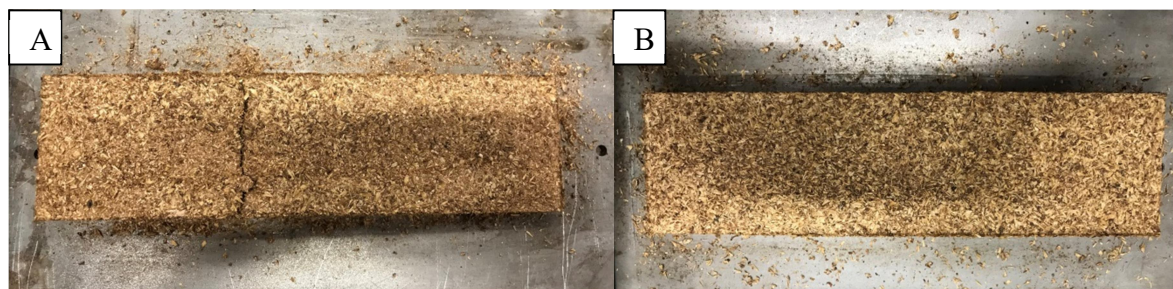
Figura 34 – Placas moldadas com resina já acelerada e 3% de catalisador, pressão de 4,8 MPa por 15 minutos e cura em estufa à 70°C por 24 horas A) Placa E50B50-20; B) Placa E50B50-30



Fonte: Do autor (2018).

Após os resultados satisfatórios com o novo método de cura, foram confeccionadas mais duas placas, uma do tipo E50B50-10 e outra do tipo E0B100-10, buscando verificar se com esse método atingiriam resultados mais satisfatórios. A Figura 35 apresenta a imagem destas placas após a moldagem. A placa E50B50-10, mostrada na Figura 35-A ficou melhor do que as placas com estas proporções feitas com as outras formas de cura, porém, não apresentou resistência suficiente para o recorte e ensaio de corpos de prova, ficando com espessura de 20 mm. Já a placa E0B100-10, apresentada na Figura 35-B, apresentou boa resistência e aparência, além de espessura média de 18 mm, ficando mais próximo dos 15 mm desejados.

Figura 35 – Placas moldadas com resina já acelerada e 3% de catalisador, pressão de 4,8 MPa e cura em estufa à 70°C por 24 horas A) Placa E50B50-10; B) Placa E0B100-10



Fonte: Do autor (2018).

Após as tentativas apresentadas, para a realização dos ensaios foram confeccionados 6 painéis do tipo E50B50-20, E50B50-30 e E0B100-10, totalizando 18 painéis de onde foram retirados os corpos de prova. Todas estas placas foram confeccionadas com resina já acelerada, 3% de catalisador butanol m-50, prensagem de 15 minutos com 4,8 MPa e pós cura em estufa à 70°C por 24 horas.

Visto o tempo demandado nos testes preliminares e nas adaptações que foram necessárias, como no caso do molde, buscando encontrar as melhores condições para a moldagem das placas, não foi possível moldar as placas E100B0-20 e E100B0-30, bem como os painéis E0B100-20 e E0B100-30, e além destes, os painéis E100B0-10 e E50B50-10 foram confeccionados, mas não obtiveram resistência o suficiente para a retirada dos corpos de prova e realização dos ensaios, com isso, a Tabela 5 apresenta quais as combinações que foram confeccionadas e que foram submetidas aos ensaios de caracterização física e mecânica.

Tabela 5 – Proporção dos materiais para formação dos painéis executados e caracterizados

	Resíduo da madeira de eucalipto (%)	Bagaço do malte (%)	Resina tipo poliéster com NPG (%)
E0B100-10	0	100	10
E50B50-20	50	50	20
E50B50-30	50	50	30

Fonte: Do autor (2018)

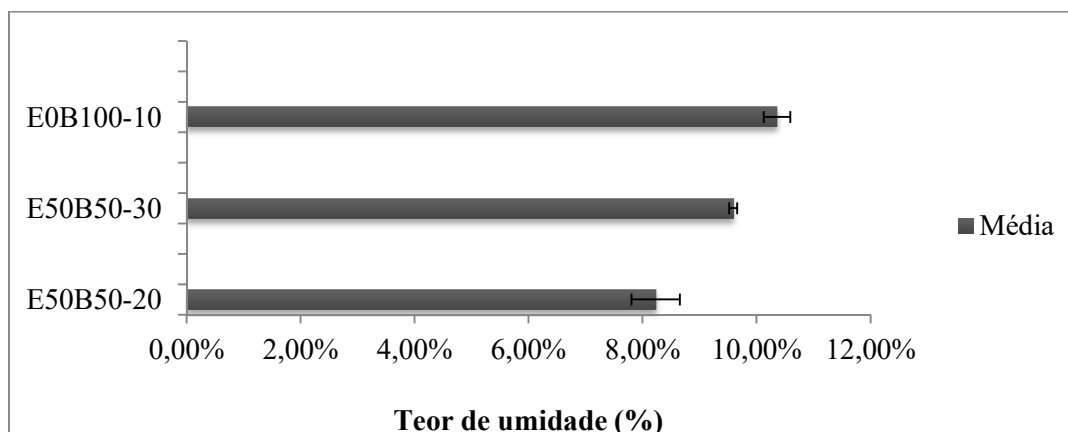
4.2 Resultados dos ensaios

A seguir estão apresentados os resultados dos ensaios de determinação do teor de umidade, da densidade, da resistência à flexão, do inchamento após 24 horas e da resistência ao arrancamento de parafusos. Os ensaios foram realizados com base na NBR 14.810-2 da ABNT (2013).

4.2.1 Determinação do teor de umidade

Os resultados dos ensaios de determinação do teor de umidade para as placas com diferentes proporções ensaiadas estão apresentadas na Figura 36. A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) exige que o teor de umidade para os painéis de qualquer tipo seja entre 5 e 13%.

Figura 36 – Resultados do teor de umidade (%) dos painéis produzidos



Fonte: Do autor (2018).

Como pode ser observado, todos os painéis submetidos a este ensaio apresentaram valores dentro do estipulado pela norma, porém, é possível verificar que o painel com 100% bagaço de malte apresentou maior teor que os outros painéis. Além disso, verifica-se que para as placas com 50% de bagaço e 50% de serragem, a placa com maior teor de resina apresentou maior teor de umidade. Acredita-se que este resultado inesperado se deve pela falta de controle da umidade das partículas secas no momento da confecção dos painéis. Apesar de todo o material ter sido seco por um período de 12 horas em estufa, não foi realizado monitoramento da umidade antes e após a secagem, bem como da umidade no dia da moldagem dos painéis.

Zau et al. (2014), ao produzirem painéis aglomerados com resíduo de madeira de Cumaru, observaram que quanto maior o teor de resina, menor o teor de umidade da placa, o que justificam pela hidrofobicidade da resina poliuretana de óleo de mamona, sendo que os valores de teor de umidade encontrados por eles variaram de 5 a 7,4%. O mesmo se esperava dos painéis com resina poliéster isoftálica com NPG, já que a mesma apresenta maior resistência à umidade devido ao baixo teor de hidroxilas livres (SILAEX, [21--]). No entanto, a falta de controle da umidade dos materiais antes da confecção dos painéis pode ter influenciado no teor de umidade. Apesar do bagaço de malte e da serragem terem sido secos

por 12 horas em estufa, não foi realizado controle da umidade antes e após a secagem, o que pode ter determinado essa variação no teor de umidade entre os painéis com 20 e 30% de resina. Iwakiri et al. (2012) e Soratto et al. (2013) secaram as partículas a um teor de 3%, já Melo et al. (2015) ajustaram o teor de umidade em 12% antes de produzir os painéis.

Setter, Melo e Stangerlin (2017), ao analisarem o teor de umidade de painéis comerciais de média densidade encontraram valor médio de 10,34%, sendo este superior aos apresentados pelos painéis E50B50 e muito próximo do painel E0B100-10, como pode ser verificado.

Tendo em vista o exposto, quanto ao ensaio de determinação do teor de umidade, os painéis apresentaram resultados adequados e satisfatórios para todas as proporções adotadas. O fato do painel E0B100-10 apresentar o maior teor de umidade deve-se, provavelmente, ao menor teor de resina.

4.2.2 Determinação da densidade

Os resultados para os ensaios de determinação de densidade e tolerância em relação à densidade média estão apresentados na Tabela 6, sendo que segundo as definições da NBR 14810-1 (ABNT, 2013), os painéis aglomerados de média densidade devem apresentar densidade entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³, e ainda, segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) a variação da densidade dos painéis em relação a densidade média não pode ser superior à 7%.

Tabela 6 – Determinação da densidade e tolerância em relação á densidade média

Painel	CP	Espessura (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (Kg/m ³)	Densidade média (Kg/m ³)	Variação densidade (%)
E50B50-20	1	20,44	51,64	53,31	56269,86	492,77	488,8	0,81
	2	21,00	52,30	50,95	55958,39	511,15		4,57
	3	20,63	54,89	55,17	62473,44	462,48		5,38
E50B50-30	1	20,26	56,36	58,24	66501,55	583,49	539,83	8,09
	2	19,32	55,24	55,83	59583,83	532,85		1,29
	3	19,96	54,35	51,58	55955,33	503,17		6,79
E0B100-10	1	25,38	18,10	50,18	50282,10	504,71	482,36	4,63
	2	25,87	20,38	50,55	55785,82	463,81		3,85
	3	25,24	18,84	51,63	52730,57	478,58		0,78

Fonte: Do autor (2018).

Para as placas submetidas ao ensaio de determinação da densidade, pode-se verificar que apenas um corpo de prova apresentou densidade dentro dos limites para ser um painel aglomerado de média densidade, sendo este o corpo de prova 1 do painel E50B50-30. Este também foi o único cuja tolerância em relação à densidade média ficou acima dos 7% especificados pela norma. Todos os outros corpos de prova ensaiados apresentaram densidade inferior ao mínimo para painéis de média densidade que é de 551 kg/m^3 , sendo classificados segundo Iwakiri (2005b), como painéis de baixa densidade. Além disso, estes painéis apresentaram tolerância em relação à densidade média abaixo do máximo recomendado pela NBR 14810-2, que é de 7% para todas as classificações de painéis.

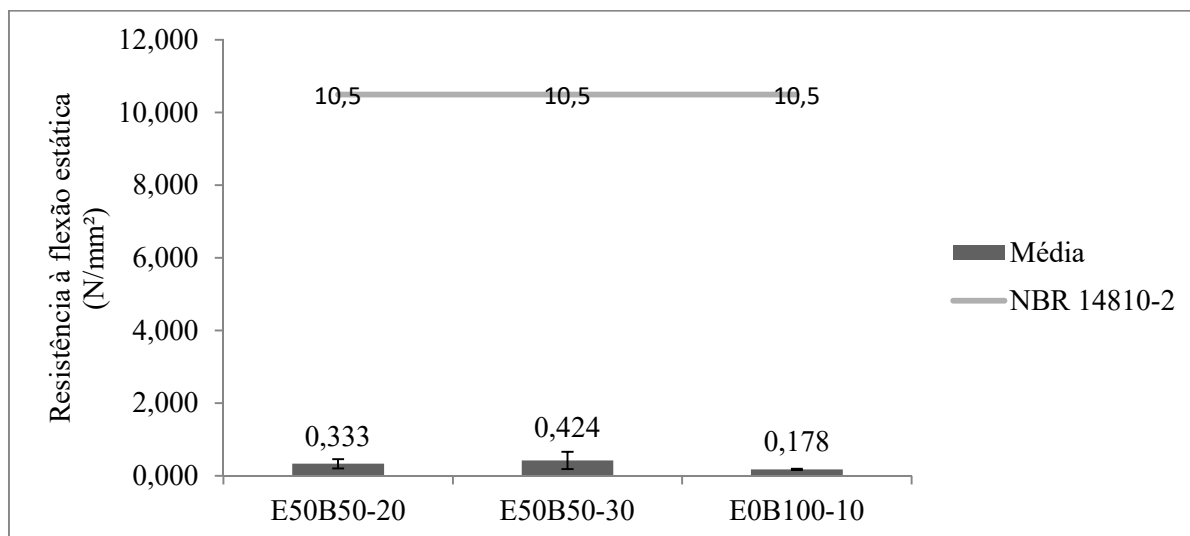
Os valores de densidade ficaram abaixo do calculado e do especificado na norma devido à espessura final dos painéis ter ficado acima dos 15 mm propostos inicialmente, culminando em um maior volume das placas com a mesma quantidade de material, consequentemente diminuindo a densidade. Esta espessura superior à desejada justifica-se pelo uso de uma prensa que não seria a ideal para o trabalho proposto, visto que não era possível aplicar maior pressão às placas. Outro fator que pode ter influenciado na densidade das placas é o fato da cura da resina não ter ocorrido no momento da prensagem, o que levou a um retorno elástico após a retirada da pressão.

Guimarães Junior et al. (2016) obtiveram resultado semelhante ao produziram painéis aglomerados com madeira de eucalipto e adição do bagaço da cultura de sorgo, os quais apresentaram densidades que variaram de 440 kg/m^3 à 480 kg/m^3 , sendo também classificados como painéis de baixa densidade. Os autores justificam essa variação da densidade com a perda de partículas durante a formação do colchão e também, devido ao retorno da espessura dos painéis após a retirada da prensa, ocorrendo aumento do volume e, consequentemente, diminuindo a densidade do painel.

4.2.3 Determinação da resistência à flexão estática

Os resultados para o ensaio de flexão estática (MOR) estão apresentados no Figura 37, bem como o mínimo exigido pela norma para painéis do Tipo P2. Verifica-se que os resultados ficaram muito abaixo do mínimo exigido pela norma e do esperado para os painéis.

Figura 37 – Resistência à flexão estática (MOR)



Fonte: Do autor (2018).

Analisando os dados apresentados na Figura 37, verifica-se que a placa com maior quantidade de resina apresenta resistência um pouco superior às outras, como ocorreu também no estudo de Zau et al. (2014), que encontraram valores de resistência à flexão na faixa de 14,3 N/mm² a 20,2 N/mm² com 10% de resina e 19,5 N/mm² a 28,3 N/mm² com 15% de resina, sendo, segundo os autores, os resultados superiores obtidos por painéis com densidade maior. O mesmo foi observado nos resultados deste trabalho, sendo o painel E50B50-30 que obteve a maior densidade e o painel E0B100-10 com a menor densidade. Com isso, pode-se afirmar que se a densidade dos painéis tivesse ficado dentro do proposto inicialmente, teriam sido encontrados resultados superiores para esta propriedade mecânica.

Além disso, o painel E0B100-10, ou seja, confeccionado com 100% de bagaço de malte, apresentou a menor resistência à flexão. Melo et al. (2009) também observaram em seu trabalho que ao utilizar maiores teores de resíduo, a resistência mecânica dos painéis diminuiu. Os painéis produzidos com 100% de madeira de eucalipto apresentaram resistência à flexão de 15 N/mm² em média. Com 40% de adição de casca de arroz, o valor de resistência à flexão diminuiu para 7,5 N/mm² e com 100% de casca de arroz, este valor chega aos 3 N/mm². Da mesma forma, Hiziroglu apud Melo et al. (2005), que analisaram painéis com diferentes proporções de palha de arroz, bambu e madeira de eucalipto, concluíram que os resultados foram melhores nos painéis feitos exclusivamente com partículas de madeira.

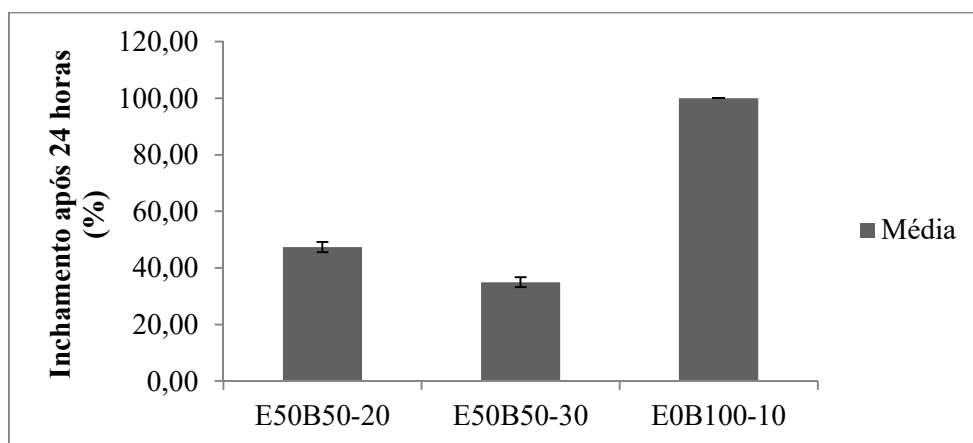
Para justificar os resultados tão inferiores frente aos encontrados na literatura e também inferiores aos painéis comerciais ensaiados por Setter, Melo e Stangerlin (2017), que

apresentaram resistência de 10,68 N/mm², é preciso considerar diversos fatores. O tempo de prensagem, por exemplo, contribui para a melhora da resistência devido à melhor cura da resina, com isso, os resultados baixos podem estar atrelados ao processo de cura da resina não ter ocorrido no momento da prensagem (TRIANOSKI et al., 2015).

4.2.4 Determinação do inchamento após 24 horas

Os resultados para os ensaios de inchamento após 24 horas para os painéis confeccionados estão apresentados na Figura 38.

Figura 38 – Inchamento após 24 horas



Fonte: Do autor (2018).

Para o ensaio de inchamento após 24 horas a NBR 14810-2 define 18% como sendo o inchamento máximo para painéis do Tipo P2. Analisando os resultados apresentados, pode-se verificar que todos os painéis apresentaram inchamento superior ao máximo permitido pela norma. As placas do tipo E50B50-20 apresentaram inchamento médio de 47,38% e a placa tipo E50B50-30 apresentou um desempenho superior, com média de 34,94%, o que pode ser explicado pela quantidade maior de resina poliéster com NPG, que melhora a resistência à água. Já a placa E0B100-10, após as 24 horas, se desagregou totalmente, não sendo possível medir sua espessura após a submersão.

Resultados parecidos aos encontrados neste trabalho também foram verificados por outros autores. Para os painéis confeccionados com adição da casca de arroz (MELO et al, 2009), a adição do resíduo na composição favoreceu o inchamento. Os resultados de inchamento após 24 horas encontrados pelos autores para as diferentes proporções de casca de

arroz variaram de 45 a 49%, sendo superiores aos índices encontrados neste trabalho para as placas do tipo E50B50.

Nos painéis desenvolvidos com adição de bagaço da cultura do sorgo, Guimarães Junior et al (2016) obtiveram valor médio de absorção de 30,34% após 24 horas, sendo este valor muito próximo aos valores obtidos pelo painel E50B50-30. Ressalta-se ainda que os painéis com diferentes proporções de sorgo não apresentaram grandes variações de inchamento.

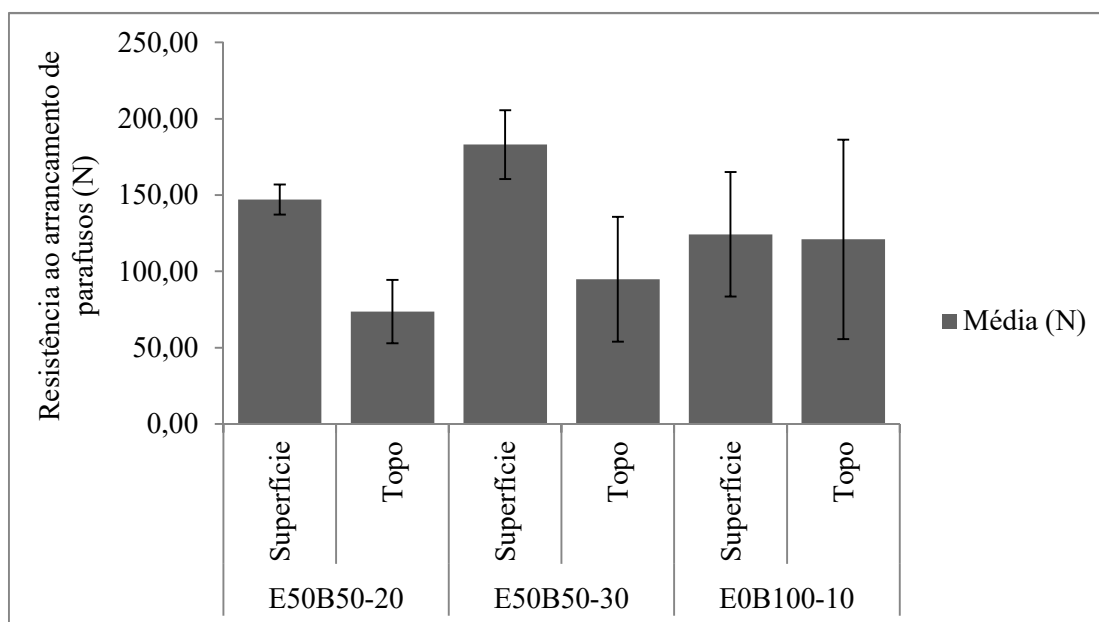
Analisando os resultados apresentados neste estudo bem como da bibliografia apresentada, pode-se concluir que quanto maior a presença de partículas finas, maior é a resistência ao inchamento dos painéis, o que pode-se confirmar analisando os resultados apresentados por Guiotoko et al (2008), que utilizou partículas finas em seu estudo obtendo ótimos resultados, e analisando os resultados apresentados por Guimarães Junior et al. (2016) e Melo et al. (2009), que utilizaram materiais com aparências semelhantes ao bagaço do malte em concentrações parecidas de madeira e resíduo, e encontraram resultados próximos aos deste trabalho. Isso também pode ser observado analisando o ensaio realizado com a placa com 100% bagaço do malte, que não apresentou resultados válidos por não ter suportado a submersão, visto que o bagaço do malte apresenta granulometria superior à serragem e portanto, menor resistência ao inchamento.

Outro ponto observado é a relação entre o inchamento após 24 horas e a densidade apresentada pelos painéis. Os painéis com maior densidade, E50B50-20 e E50B50-30, apresentaram menor inchamento, o que pode ser explicado pela menor presença de vazios, relacionada à qualidade da prensagem e ao maior teor de resina em comparação ao painel E0B100-10.

4.2.5 Determinação da resistência ao arrancamento de parafusos

Na Figura 39 apresentam-se os resultados para o ensaio de arrancamento de parafusos de superfície e de topo. Por se tratar de um ensaio complementar, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013) não apresenta valores mínimos de resistência para este ensaio.

Figura 39 – Resistência ao arrancamento de parafusos



Fonte: Do autor (2018).

Verifica-se na Figura 39 que o painel que apresentou melhor resistência, tanto para o arrancamento de parafusos de superfície como de topo, foi o painel do tipo E50B50-30. O painel do tipo E50B50-20 apresentou resistência um pouco inferior ao anterior, o que pode-se justificar, segundo Zau et al (2014), pela menor quantidade de resina, visto que em seu estudo, quanto maior a quantidade de resina maior a resistência ao arrancamento de parafusos. Já Pedrazzi et al (2006), que em seu estudo sobre painéis aglomerados utilizando resina ureia-formaldeído, concluíram que quanto maior a quantidade de adesivo, melhor a resistência ao arrancamento.

O painel E0B100-10 apresentou bons resultados se comparados aos outros dois painéis, como pode ser observado na Figura 39, onde verifica-se que o resultado do ensaio de topo foi superior até mesmo ao do painel E50B50-30. Porém, pode-se observar que devido ao resultado de um corpo de prova ter sido muito divergente dos outros, houve um grande desvio padrão neste resultado. Já o ensaio de superfície, que também apresenta um desvio padrão elevado, apresentou valor inferior dos resultados dos outros painéis. Esse resultado inferior do painel E0B100-10, além de poder ser justificado pelo menor teor de resina, pode ser justificado pela maior presença do resíduo, pois, conforme Melo et al (2009), quanto maior a quantidade de resíduo, menor a resistência ao arrancamento de parafusos.

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com o estudo realizado por Setter, Melo e Stangerlin (2017), onde foram realizados ensaios com painéis comerciais de média densidade, os resultados ficaram bem abaixo do encontrado pelos autores, que foi de 1.056 N, o que também pode ser justificado pelos painéis deste trabalho não terem apresentado a densidade esperada, sendo então classificados como painéis de baixa densidade, devido ao aumento da espessura das placas e consequentemente, perda de resistência.

Com base nos resultados apresentados, foi possível observar que nenhum dos painéis desenvolvidos atingiu as especificações para ser comercializado como painel do tipo P2, segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013), o que ocorreu principalmente devido às limitações encontradas ao longo da pesquisa, como a prensa utilizada, que não é a ideal para a ideia proposta, a resina, que foi utilizada em função de não ter a prensa correta disponível, bem como a sua cura, que deveria ocorrer no momento da prensagem das placas. Desta forma, mais estudos são necessários afim de avaliar o desempenho deste material em condições mais adequadas.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de painéis de madeira aglomerada com adição de diferentes materiais vem sendo estudado buscando gerar valor aos resíduos e também na tentativa de apresentar uma correta destinação destes resíduos, como é o caso do bagaço do malte e da serragem, que são gerados em grande escala em todo o país e que se não forem destinados corretamente, se tornam um grande gerador de impactos ambientais.

O resíduo das serrarias muitas vezes é incinerado buscando diminuir o volume, mas essa prática acarreta em altos índices de emissão de gases poluentes. Já o resíduo do bagaço do malte tem sido empregado na alimentação animal, mas este setor não supre todo o resíduo gerado, além disto, busca-se encontrar uma destinação que agregue mais valor ao produto.

O emprego destes materiais na confecção de painéis de madeira aglomerada amenizaria os problemas ambientais causados pelos mesmos, bem como, agregaria valor aos resíduos, permitindo que as empresas geradoras os vissem como um potencial de geração de receita e não um problema, o que justifica a importância da realização deste estudo.

Os resultados encontrados neste trabalho para os ensaios de flexão estática e para o arrancamento de parafusos ficaram abaixo do que a literatura consultada apresenta, bem como, a densidade dos painéis ficou abaixo do esperado, visto que o painel apresentou espessura superior à desejada. Ainda assim, a variação da densidade em relação à média ficou dentro do exigido pela norma, que é de 7%. Para os ensaios de inchamento após 24 horas, os resultados também foram superiores aos previstos na norma, já para os ensaios de teor de umidade, todos os corpos de prova apresentaram resultados dentro dos limites da NBR 14810-2 que é de 5 a 13%.

Com base nos resultados apresentados ao longo deste trabalho, conclui-se que há viabilidade técnica de produzir painéis aglomerados com resíduo de madeira de eucalipto e bagaço do malte, porém, faz-se necessário a realização de mais estudos a cerca principalmente do bagaço do malte, devido à pouca bibliografia disponível. Com base nos resultados dos ensaios, pode-se afirmar que de modo geral os painéis confeccionados neste trabalho não apresentam características físicas e mecânicas para serem enquadrados como painéis do Tipo P2, segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Levando em consideração a importância de desenvolver painéis com o bagaço de malte, visto a proporção da produção deste resíduo e a sua falta de destinação correta, faz-se importante desenvolver um estudo buscando caracterizar melhor o resíduo, visto a pouca bibliografia disponível. Tendo o conhecimento acerca do resíduo, é possível escolher qual o melhor tipo de resina para utilizar e então, desenvolver painéis com qualidades superiores às apresentadas nos painéis com outros tipos de resíduos, bem como à NBR 14810-2.

Como trabalhos futuros, sugere-se a utilização de resinas mais conhecidas no desenvolvimento deste tipo de painel, como a ureia-formaldeído, sendo que, para isso seria necessário a disponibilização de prensas adequadas e que permitissem a cura correta das placas, o que também iria trazer resultados melhores aos ensaios. Outra questão a ser avaliada seria a adição de outros percentuais de bagaço em substituição à serragem, pois conforme se verifica em outras pesquisas, menores adições de resíduo resultam em melhores propriedades dos painéis.

Por fim, sendo este um dos primeiros trabalhos realizados nesta instituição com este tipo de propósito, bem como sendo um dos únicos realizados com este tipo de resíduo, considera-se este de fundamental importância para iniciar a pesquisa neste setor tão importante para a construção civil e para as questões ambientais, visto que reutiliza resíduos para produzir um novo material que substitui outro, o qual seria retirado da natureza.

REFERÊNCIAS

ALVES, Luciane S. **Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para a confecção e avaliação de painéis aglomerados**. Ilha Soleira: UNESP, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91454>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Programa setorial da qualidade de painéis de partículas de madeira (MDP) e painéis de fibras de madeira (MDF)**. 2014. Disponível em: <pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq2.php?id_psq=116>. Acesso em: 22 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2009 ano base 2008**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/estudos-setoriais/>> Acesso em: 23 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10024**: Chapa dura de fibra de madeira – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 14810-1**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15316-1:** Painéis de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 15316-2:** Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR NM248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARBOSA, Fernando M. **Caracterização mecânica e térmica de compósitos naturais modificados com ciclodextrina e fibras vegetais utilizando como matriz uma resina termofixa dgeba/teta.** Ilha Solteira: UNESP, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/111126/000796599.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 maio. 2018.

BARROS, Guilherme. Produção de cerveja cresce 18% em 2010 e eleva o Brasil a terceiro maior mercado do mundo. **Ig Indústria.** 19 jan. 2011. Disponível em: <<http://guilhermearros.ig.com.br/2011/01/19/producao-de-cerveja-cresce-18-em-2010-e-eleva-o-brasil-a-terceiro-maior-mercado-do-mundo/>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção:** Novos materiais para a construção civil. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

BOM, Pedro. **Painéis de madeira.** Resinas sintéticas. Uniuv, [21--]. Disponível em: <<http://engmadeira.yolasite.com/resources/Resinas%20sint%C3%A9ticas.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

BOTÂNICA de eucalyptus spp. **Departamento de Ciências Florestais – Esalq/USP.** São Paulo, [21--]. Disponível em: <<http://www.tume.esalq.usp.br/botanica.htm>> Acesso em: 12 mai. 2018.

BRASFIBRA: **Chapa de fibra Brasfibra.** [21--] Disponível em: <<http://brasfibra.com.br/>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

CACHIM, Paulo Barreto. **Construção em madeira:** a madeira como material de construção. 2ª ed. Porto: Publindústria, 2014.

CASTRO, Alessandro Justino. **Resina poliéster:** caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas. Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/105241/Alessandro_Castro1.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 maio. 2018.

CASTRO, Anne K. R.; SOUZA, Frederico; TELES, Ricardo F. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira utilizados na indústria moveleira In: 64ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC. São Luís, 2012. **Anais...** São Luís: SBPC, 2012. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

FEITOSA, Bruno da C. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. **Revista da Madeira,** Caxias do Sul, ed. 114, 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1274&subject=Res%ED>

duos&title=Aproveitamento%20dos%20res%EDduos%20de%20madeira%20no%20Par%El
>. Acesso em: 22 abr. 2018.

EMBRAPOL. **Tipos de resinas.** [21--]. Disponível em:
<http://www.embrapol.com.br/hot_resinas/tipos_resinas.html> Acesso em: 20 mai. 2018.

ENVALMA. **Plantas industriais pequenas para a produção de painéis aglomerados MDP no Brasil.** [201 -?]. Disponível em: <http://www.entalma.com/wa_files/ENVALMA-Paineis_20Aglomerados.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2018.

ESTUDO aponta uso sustentável da madeira para casas. **Revista da Madeira.** São Paulo, n. 101. Jan./2007. Disponível em:
<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1015&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Estudo%20aponta%20uso%20sustent%E1vel%20da%20madeira%20para%20casas>. Acesso em: 07 mai. 2018.

FLORINDO, Débora N. F. **Obtenção de compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço de malte.** Ponta Grossa: UTFPR, 2017.

FONTES, Paulo J. P. **Auto suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos.** Curitiba: UFPR, 1994. Disponível em:
<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28882/D%20-%20PAULO%20JOSE%20PRUDENTE%20DE%20FONTES.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

GONZAGA, Armando Luiz. **Madeira: Uso e conservação.** Brasília: Iphan/Monumenta, 2006. 246p. E-book. Disponível em:
<portal.iphan.gov.br/uploads/temp/Colecao_Cadernos_Tecnicos.docx> Acesso em: 10 mai. 2018.

GUIMARÃES JUNIOR, José B.; XAVIER, Michele M.; SANTOS, Tamara S.; PROTÁSIO, Thiago P.; MENDES, Rafael F.; MENDES, Lourival M. Inclusão de resíduo da cultura do sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Brasil, 30 dez. 2016. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

GUIOTOKO, Marcela; LAZARIS, Vanice; DALLAGO, Rogério M.; MAGALHÃES, Washington L. E. Utilização de palitos de erva-mate na produção de painéis de aglomerado. **Embrapa**, Colombo, dez. 2008.

HASELEIN, Clovis R.; CALEGARI, Leandro; BARROS, Marcos V.; HACK, Cristiano; HILLIG, Éverton; PAULESKI, Dalva T.; POZZERA, Fernanda. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de diferentes dimensões. **Ciência Floresta.** Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira aglomerada.** Curitiba: UFPR – DETF, 2005a. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf>> Acesso em: 13 maio. 2018.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005b.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, Antonio C.; SAKS, Daniel C. O.; GUI SANTES, Francisco P.; FRANZONI, José A.; KRAMBECK, Luciana B. P.; RIGATTO, Patrícia A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, n. 64, p 39-43, ago. 2005. Disponível em:

<<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr68/cap04.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

IWAKIRI, Setsuo; VIANEZ, Basílio Frasco; WEBER, Cristiane; TRIANOSKI, Rosilani; ALMEIDA, Vanessa C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, Manaus, v. 42, p. 59-64, 01 mar. 2012. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000100007>.

Acesso em: 18 nov. 2018.

KATSUKAKE, Alexandre. **Uma revisão sobre a resina ureia-formaldeído (R-UF) empregada na produção de painéis de madeira reconstituída**. Bauru: UNESP, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119522>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan S. **Química da Madeira**. 4. Ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. E-book. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br>. Acesso em: 09 mai. 2018.

LEROY MERLIN. **Produtos**. [21--] Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. Curitiba, UFPR. 1988. Disponível em:

<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/27702/D%20-%20MATOS,%20JORGE%20LUIS%20MONTEIRO%20DE.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

MATTOS, René Luiz Grion; CHAGAS, Flávia Barros das; GONÇALVES, Roberta Mendes. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2526>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

MELLO, Léa Rita P. F.; VERGÍLIO, Renata M; MALI, Suzana. Caracterização química e funcional do resíduo fibroso da indústria cervejeira. III SIMPÓSIO DE BIOQUÍMICA E BIOTECNOLOGIA. Londrina, 2013. **Anais...** Londrina, 2013. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/bbr/article/viewFile/15746/12938>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

MELO, Rafael R.; SANTINI, Elio J.; HASELEIN, Clovis R.; STANGERLIN, Diego M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460. out-dez. 2009. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/899/627>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MELO, Rafael R.; STANFERLIN, Diego M.; SOUSA, Adilson P. de; CADEMARTORI, Pedro H. G. de.; SCHNEID, Eduardo. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados

madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42. Jan. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v45n1/0103-8478-cr-45-01-00035.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

MEIRELLES, Célia Regina M.; DINIS, Henrique; SEGAL, Maria Lasar ; SANT'ANNA, Silvio S.: Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. **III Fórum de Pesquisa Fau. Mackenzie**, 2007. Disponível em: <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/MACK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2018.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Review brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**. Lorena, v. 43, p. 1-14, 2006. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jnlabr/yjers> Acesso em: 26 maio. 2018.

PEDRAZZI, Cristiane; HASELEIN, Clovis R.; SANTINI, Elio J.; SCHNEIDER, Paulo R.: Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulosa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n.2, p. 201-212, abr./jun. 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1899>>. Acesso em: 16 Nov. 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**: Dimensionamento segundo a Norma Brasileira NBR 7190/97 e critérios das Normas Norte-americana NDS e Européia EUROCODE 5. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PROST BIER. **Cervejaria**. [21--] Disponível em: <<http://www.prostbier.com.br/home>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

SALVA. **Sobre nós**. [21--] Disponível em: <<http://www.salvacraftbeer.com/>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

SANTOS, Mateus S.; RIBEIRO, Flávio de M. **Cervejas e Refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. (1 CD) : il. ; 30 cm. (Série P + L) Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

SETTER, Carine; MELO, Rafael R.; STANGERLIN, Diego M. Propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados e de fibras de média densidade: III CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. Florianópolis, 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem/papers/propriedades-fisicas-e-mecanicas-de-paineis-aglomerados-e-de-fibras-de-media-densidade?lang=pt-br>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

SILAEX. **Poliéster**. [21--]. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE SERVIÇOS FLORESTAIS (SNIF). **Certificação Florestal**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/certificacao-florestal>> Acesso em: 12 mai. 2018.

SOBRAL, Leonardo; VERÍSSIMO, Adalberto; LIMA, Eirivelthon, AZEVEDO, Tasso; SMERALDI, Roberto. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imaflora, 2002.

SORATTO, Déborah N.; CUNHA, Alexsandro B.; VITAL, Benedito R.; CARNEIRO, Angélica C. O.; COSTA, Fabrício R.: Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com Eucalyptus sp. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 46-59, maio 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4052>> Acesso em: 18 nov. 2018.

TRIANOSKI, Rosilani; IWAKIRI, Setsuo; MATOS, Jorge L. M.; HIGA, Antonio R.; BRAZ, Rafael L. Avaliação das propriedades de painéis compensados de Melia azedarach L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista da Árvore**, Viçosa, v.39, n. 4, p.759-769, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400019>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

VIDAL, André C. F.; HORA, André B. **Panorama de Mercado: painéis de madeira**. Brasil, BNDES Setorial, 2014. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M.; Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de Eucalyptus Grandis (Hill ex-Maiden). **Revista da Árvore**. Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000094&pid=S0104-7760201200040001200016&lng=pt>. Acesso em: 27 mai. 2018.

ZAU, Mírian D. L.; VASCONCELOS, Raimundo P.; GIACON, Virginia M.; LAHR, Francisco A. R. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia – Cumaru (Dipteryx Odorata) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**. Manaus, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282014000600014&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 29 mai. 2018.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas: SVMA, 2009. E-book. Disponível em: <http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/livros/3-madeira:_uso_sustentavel_na_construcao_civil.htm>. Acesso em: 6 mai. 2018.

ZENID, Geraldo José. **Madeira na construção civil**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/MADEIRA-NA-CONSTRU%C3%87%C3%83O-CIVI.pdf>>. Acesso em: 6 mai. 2018.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09